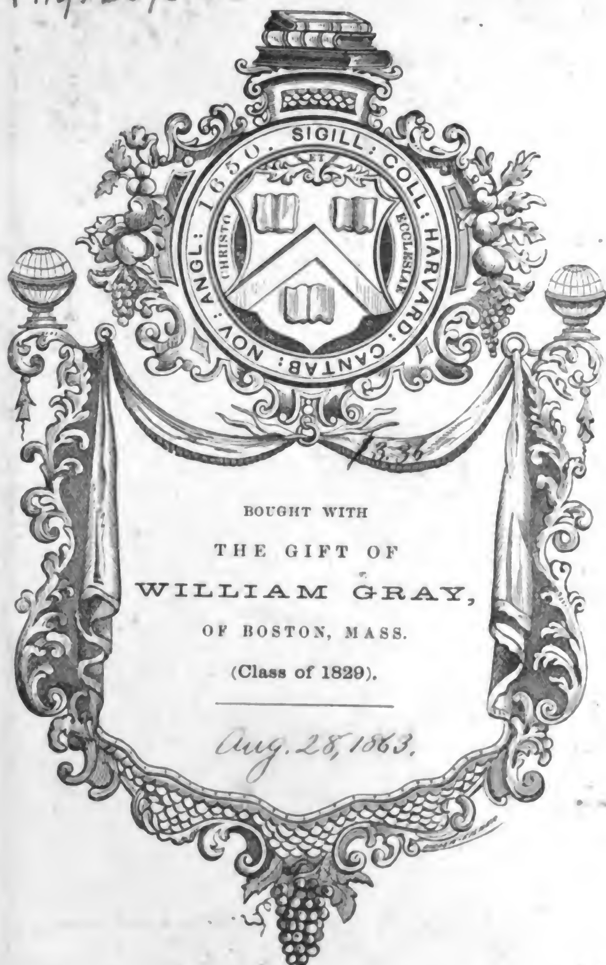

SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIAE
13.36

Neuer

Schauplatz der Künste und Handwerke.

Mit

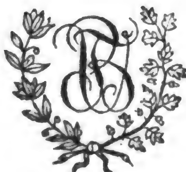
Berücksichtigung der neuesten Erfindungen.

Herausgegeben

von

einer Gesellschaft von Künstlern, Technologen und Professionisten.

Mit vielen Abbildungen.



Dritter Band.

Dr. F. W. Barfuß, Optik, Katoptrik und Dioptrik.

Zweite Auflage.

Weimar, 1860.

Verlag, Druck und Lithographie von B. F. Voigt.

Dr. F. W. Barfuß,

populäres Lehrbuch

der

Optik, Katoptrik und Dioptrik.

Theoretisch-practischer Unterricht über den Bau aller optischen Instrumente.

Zweite völlig umgearbeitete Auflage

von

Dr. Hermann Gieswald,
Oberlehrer an der St. Johannisschule in Danzig.

Mit einem Atlas,
enthaltend 31 Quarttafeln.

Weimar, 1860.
Verlag, Druck und Lithographie von B. F. Voigt.

Vorrede.

Wohl in keinem Zweige des menschlichen Forschens sind in der Neuzeit so große Fortschritte gemacht, als in den Naturwissenschaften. Die gesammte Naturlehre hat in unsern Tagen nicht nur ein rein wissenschaftliches Interesse erlangt, sie hat auch eine hohe Bedeutung für das practische Leben gewonnen, denn Kunst und Gewerbe ziehen Nutzen aus den erlangten wissenschaftlichen Resultaten. — In den verschiedensten Zweigen dieser Wissenschaft sehen wir den Practiker hilfreich dem Theoretiker zur Seite stehen, seine Constructionen zur Ausführung, seine Theorien zur Anschauung bringen.

Namentlich ist dieses auch in einem der interessantesten Zweige der Physik, der Optik, der Fall. Die neuen Theorien, die der Scharfsinn Euler's, Newton's, Huyghen's, Fresnel's u. m. a. hervorrief, sie wurden dadurch Gemeingut vieler, daß geübte Künstler die Theorie erläuternde sinnreiche Apparate construirten, durch welche selbst dem Laien ein Einblick in die schwierigsten Theile der Optik möglich wurde. Dr. Barfuß hatte im Jahre 1839 ein populäres Lehrbuch der Optik erscheinen lassen, in welchem, wie er selbst in der Vorrede sagte, er neben dem theoretischen Bedürfnisse nicht weniger das practische berücksichtigt habe. Diese Idee hat auch den Bear-

beiter der Optik des Barfuß geleitet, und er hat es nicht nur für nothwendig erachtet, alle seit dem Jahre 1839 neu construirten Apparate an den betreffenden Stellen zu erwähnen und mit der Theorie in Einklang zu bringen, sondern er hat es auch für unumgänglich nothwendig gehalten, speciell über die Theorie des Lichtes, über die Beugungserscheinungen, die Polarisation des Lichtes und die doppelte Brechung desselben, sowie über die Apparate, die diese Erscheinungen versinnlichen, Mittheilungen zu machen, und er glaubt dadurch eine Lücke ausgefüllt zu haben, die sich in dem Barfußschen Werke so deutlich fühlbar machte. Während ein Capitel der ersten Ausgabe: die perspectivischen Projectionen nicht wieder in der Bearbeitung erwähnt ist, da es wohl für den Practiker entbehrlich, ist doch im Allgemeinen die Anordnung des Dr. Barfuß beibehalten; nur sind, namentlich an einigen Stellen, wie bei der Stereoskopie und der Betrachtung der Farbenentstehung, die theoretischen Ansichten der Physiker ausführlicher besprochen, weil nach des Bearbeiters Ansicht auch jedem Practiker gerade in einem Theile der Wissenschaft, der in der Zukunft noch eine Rolle zu spielen verspricht, die elementaren Ansichten bekannt sein müssen, damit er ein richtiges Verständniß der Sache erlange. — Auf diese Weise hofft der Bearbeiter im Wesentlichen den richtigen Weg eingeschlagen, und indem er meistentheils den Originalarbeiten gefolgt, Fehler und Mängel so viel als möglich vermieden zu haben. —

Danzig im Herbst 1859.

Dr. Gieswald.

Inhalt.

Erstes Kapitel.

Zweites Kapitel.

Seite

Drittes Kapitel.

Viertes Kapitel.

Fünftes Kapitel.

Sechstes Kapitel.

Siebentes Kapitel.

Achtes Kapitel.

Neuntes Kapitel.

Zehntes Kapitel.

Erstes Capitel.

Allgemeine Bemerkungen über das Wesen und die Fortpflanzung des Lichtes.

§. 1. Der Lichtäther — die Undulationstheorie.

Es bestehen in der Theorie über das Wesen des Lichtes zwei Ansichten, die auch jetzt noch bisweilen scharf gegen einander gesondert stehen. Wir wollen sie soweit als nöthig beleuchten und erörtern. Schon 1670 beschäftigte sich Huyghens mit der Theorie des Lichtes, legte seine Arbeiten theilweise der Akademie der Wissenschaften vor, veröffentlichte sie aber erst 1690 durch den Druck. In diesen seinen Arbeiten ist er als der Schöpfer der Undulationstheorie, deren Principien wir gleich im Allgemeinen erörtern wollen, anzusehen, indem er Phänomene, durch die Theorie veranlaßt, ankündigte, die später, selbst in dem schwierigen Kapitel der doppelten Strahlenbrechung, die practische Beobachtung als richtig anerkennen mußte. — Indeß wurde 1701 durch den weltberühmten Mathematiker Newton eine andere

Ansicht in seiner: „Optica“ aufgestellt, die lange Zeit als die allein richtige sich dadurch Geltung zu verschaffen wußte, daß das Ansehen und die Aussprüche eines Mannes wie Newton unantastbar schienen. Die Emanations- oder Emissionstheorie, die Newton verfocht und der sich Biot in Frankreich und Brewster in England anschlossen, nimmt an, daß es eine äußerst feine, den Wirkungen der Schwere nicht unterworfene, also imponderabele Lichtmaterie gebe, die ein leuchtender Körper nach allen Seiten hin aussendet (emanat, emittit). Die Geschwindigkeit des Aussendens ist verschieden, und darauf beruht die Verschiedenheit der Farben. Die Lichtmaterie ist elastisch, prallt wie ein Elfenbeinball ab, und hierauf beruht die Reflexion. Alle Körper besitzen Poren; durch diese dringt die Lichtmaterie, und es entstehen Lichtbrechungen im Innern des durchsichtigen Körpers, zumal die Körper eine Anziehung auf die Lichttheile ausüben und sie von der einmal von ihnen angetretenen Bahn ablenken. Dieses sind die Ansichten, welche die Anhänger der Theorie verfochten, die sich aber nicht stichhaltig in den von Euler, Wollaston und Malus, Young und Fresnel angestellten Untersuchungen bewiesen, so daß diese Physiker, und mit ihnen die meisten jüngern, zur früher erwähnten Undulationstheorie, deren Principien wir nun im Allgemeinen folgen lassen, zurückkehrten. — Folgen wir nun im Allgemeinen dem von Helmholtz in seiner Optik so trefflich und kurz gefaßten Resultate der heutigen Untersuchungen, so betrachten wir das Licht als eine eigenthümliche Bewegungsform eines hypothetischen Mediums, des Lichtäthers.

Der Aether erfüllt den ganzen Weltraum, da das Licht alle Räume des Himmels durchdringt. Der Aether ist aber nicht nur in den sonst leeren Räumen verbreitet, welche die Himmelskörper trennen, sondern er durchdringt alle Körper und füllt die zwischen den wägbaren Atomen befindlichen Räume aus. — Wäre der Aether in dem ganzen Weltenraume in Ruhe, so würde überall

vollkommene Finsterniß herrschen; an einer Stelle aber gleichsam erschüttert, pflanzen sich Lichtwellen nach allen Seiten hin fort, wie sich die Schwingungen einer Saite in einer ruhigen Atmosphäre weithin verbreiten. Das Licht, welches erst durch eine Bewegung entsteht, ist also wohl von dem Aether selbst zu unterscheiden, wie die Vibrationsbewegung, welche den Schall hervorbringt, von den oscillirenden Theilchen der wägbaren Materie unterschieden wird. — Die Art der Bewegung der Aethertheilchen längs eines Lichtstrahles, welche die Undulationstheorie ihren Folgerungen zu Grunde legt, versinnlicht man sich am leichtesten, wenn man einen nassen Faden oder eine feine Kette AB (Taf. XVI, Fig. 1), indem man sie am obern Ende bei A mit der Hand faßt, senkrecht herab hängen läßt, und nun die Hand seitlich hin und her bewegt. Der Faden biegt sich dann zu einer Wellenlinie, wie sie durch die gestrichelte Linie der Figur angedeutet ist, welche Wellenlinie fortdauernd *vom oberen* zum unteren Ende herabläuft. Bei den Wellen, die sich längs des Fadens von oben nach unten fortpflanzen, bleibt jedes einzelne Theilchen des Fadens immer in gleicher Höhe über dem Boden, wobei es entweder in geraden Linien von rechts nach links, oder von vorn nach hinten hin- und herschwanken, oder in horizontalen, kreisförmigen oder elliptischen Bahnen um seine mittlere Gleichgewichtslage sich bewegen kann, je nachdem sich die Hand, welche den Faden hält, von rechts nach links, oder von vorn nach hinten, oder in geschlossenen krummen Linien bewegt.

Ganz ähnlich der Bewegung der einzelnen Theile des Fadens würde die Bewegung einer Reihe von Aethertheilchen sein, längs welcher sich ein Lichtstrahl fortpflanzt. Jedes einzelne Theilchen des Aethers bleibt fortdauernd in der Nähe seiner ursprünglichen Ruhelage, und bewegt sich in geraden oder gekrümmten Bahnen um diese. Was sich als Licht fortbewegt, sind nicht die Aethertheilchen selbst, sondern nur die Wellenform, in welche sie sich während ihrer Bewegung ordnen, mit

1*

ihren verschiedenen Abwechselungen (Phasen) von Ausweichung und Geschwindigkeit.

Die Bahnen der Aethertheilchen bei der Lichtbewegung liegen in Ebenen, welche senkrecht gegen die Fortpflanzungsrichtung der Wellen sind, ganz wie bei unserem Faden, wo die Wellen in verticaler Richtung nach dem Boden hin laufen, und jeder einzelne Theil des schwingenden Fadens stets in gleicher Höhe über dem Boden eine horizontale Bahn beschreibt. Dadurch unterscheiden sich die Lichtwellen von den Wellen elastischer Flüssigkeiten, z. B. von der Schallbewegung der Luft, bei welcher die Theilchen parallel der Fortpflanzungsrichtung oscilliren.

Wenn die Bahn der schwingenden Aethertheilchen in einem Lichtwellenzuge geradlinig ist, nennt man das Licht geradlinig polarisirt; wenn die Bahn kreisförmig oder elliptisch ist, nennt man das Licht dagegen kreisförmig oder elliptisch polarisirt, wobei die Drehung rechts oder links herum geschehen kann. Zwei geradlinig polarisirte Strahlen, deren Schwingungsrichtungen auf einander senkrecht stehen, nennt man senkrecht gegen einander polarisirt. Das natürliche Licht, wie es von leuchtenden Körpern ausgeht, verhält sich meist wie eine gleichmäßige Mischung von allen Arten verschieden polarisirten Lichtes; man nennt solches unpolarisirt. Erst durch die Brechung und Spiegelung des Lichtes erhält man Licht, in welchem eine Art der Polarisation überwiegt, oder allein vorkommt.

Wenn jedes Aethertheilchen bei der Lichtbewegung immer genau in derselben Zeit denselben Weg mit derselben Geschwindigkeit wiederholt durchläuft, nennt man das Licht einfach, einfarbig oder homogen, und die Zeit, in der es seinen Weg einmal zurücklegt, heißt die Schwingungsdauer. Die auffallendste Eigenthümlichkeit, durch welche sich Licht verschiedener Schwingungsdauer von einander unterscheidet, ist die Farbe. Das natürliche Licht der leuchtenden Körper ist meistens

nicht einfaches Licht von constanter Schwingungsdauer, sondern enthält Wellenzüge von einer unendlichen Menge continuirlich in einander übergehender Werthe der Schwingungsdauer. Man nennt solches Licht gemischtes oder zusammengesetztes Licht. Das weiße Licht der Sonne ist gemischtes Licht. Einfaches Licht kann man am besten durch Brechung in durchsichtigen Prismen aus dem gemischten ausscheiden, indem nach der Brechung die Wellenzüge verschiedener Schwingungsdauer in verschiedenen Richtungen sich fortpflanzen. Wir können also die Bewegung in einem Strahle natürlichen Lichtes vergleichen mit der Bewegung, welche unser Faden annehmen würde, wenn die Hand, welche ihn hält, unregelmäßige Bewegungen sowohl der Dauer als der Richtung nach ausführt, bei denen sie sich aber nie weit von ihrer mittleren Lage entfernt.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen ist außerordentlich groß. Für den Weltenraum ist sie durch astronomische Beobachtungen bestimmt worden, und beträgt hier 310177,5 Kilometer (41179 preußische Meilen) in der Secunde. In durchsichtigen Körpern ist sie geringer; und in diesen meistens, mit einziger Ausnahme der Gasarten, nicht ganz gleich für Licht verschiedener Schwingungsdauer.

In krystallisirten Körpern, oder solchen, deren molecularer Bau nach verschiedenen Richtungen hin verschieden ist (doppeltbrechenden Körpern), ist die Fortpflanzungsrichtung auch für verschiedene Richtungen der Fortpflanzung und der Polarisation verschieden.

Wenn längs der Linie AB (Taf. XVI, Fig. 1) ein einfacher, geradlinig polarisirter Lichtstrahl sich fortpflanzt, so ordnen sich die Aethertheilchen, welche anfangs in der geraden Linie AB lagen, in eine Wellenlinie $a_0 b_0 a_1 b_1 a_2$, welche sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortschiebt, und wechselnde Ausbiegungen nach rechts und links von gleicher Länge zeigt. Die Länge von zwei solchen Ausbiegungen $c_0 c_1$, oder überhaupt die Entfernung je zweier entsprechender Punkte

auf zwei nächst aufeinanderfolgenden, nach gleicher Richtung hin gebogenen Theilen der Wellenlinie nennt man die Wellenlänge. Während nun der Gipfel des Wellenberges von a_0 bis a_1 sich fortschiebt, muß bei A ein neuer Gipfel der Linie angekommen sein, und das Aetherth eilchen bei A muß eine ganze Schwingungsdauer vollendet haben.

Während der Zeit einer Schwingungsdauer pflanzt sich also das Licht um eine Wellenlänge fort, d. h. die Wellenlänge ist gleich der Schwingungsdauer, multiplicirt mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Daraus folgt, daß bei Licht von gleicher Schwingungsdauer in durchsichtigen Mitteln verschiedener Art die Wellenlänge der Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional sein muß, und daß die Wellenlängen in dichteren durchsichtigeren Medien im Allgemeinen kleiner sind als im leeren Raume.

Die Wellenlängen kann man mit Hülfe der Phänomene der Interferenz messen und daraus die Schwingungsdauer des betreffenden Lichtes berechnen. Die Phänomene der Interferenz beruhen darauf, daß zwei Lichtstrahlen sich gegenseitig verstärken, wenn sie gleichgerichtete Aetherbewegungen, sich aber aufheben, wenn sie entgegengesetzt gerichtete hervorbringen. Zwei Theile eines Lichtstrahles, welche nach verschiedenen Wegen sich wieder vereinigen, verstärken sich also, wenn ihre Wege gar nicht, oder um ein, zwei oder mehrere ganze Wellenlängen unterschieden sind, und sie heben sich auf, wenn die Wege um eine ungerade Zahl halber Wellenlängen unterschieden sind. Aus solchen Phänomenen der Interferenz hat man nun gefunden, das die Lichtwellenlängen im leeren Raume 14 bis 25 Milliontheile eines Pariser Zolles (0,00039 bis 0,00069 Millim.) betragen, und daraus für die Zahl der Schwingungen in der Secunde 451 bis 789 Billionen gefunden.

Die Erschütterungen, welche ein leuchtender Punkt in einem einfach brechenden Mittel dem umgebenden Aether mittheilt, pflanzen sich von ihm aus gleichmäßig

und mit gleicher Geschwindigkeit nach allen Richtungen fort. Dadurch entsteht eine kugelförmige Ausbreitung der Welle, wobei die Excursionen der schwingenden Aethertheilchen in dem Verhältnisse abnehmen, wie der Radius der Welle wächst. Die Intensität des Lichtes aber, welche dem Quadrate der Excursionen proportional zu setzen ist, verhält sich demnach in verschiedenen Entfernungen umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung vom leuchtenden Punkte. Bei einer solchen räumlichen Ausbreitung der Lichtbewegung nennt man eine Fläche, in der Aethertheilchen liegen, die alle in derselben Phase der Schwingung begriffen sind, eine Wellenfläche.

§. 2. Ueber den Begriff des Lichtstrahles.

Es ist noch der Begriff des Lichtstrahles zu erörtern. Seine mathematische Definition ist die, daß er eine auf den Wellenflächen senkrechte Linie sei; haben wir es also mit kugelig sich verbreitenden Wellen zu thun, so ist er ein Radius der concentrischen Kugelflächen, und behält seine Richtuug so lange bei, als die Lichtbewegung in demselben durchsichtigen Medium ungestört fortschreitet. Wenn wir die Bewegung der längs eines Strahles gelegenen Aethertheilchen betrachten, so ist dieselbe streng genommen allerdings nicht unabhängig von der Bewegung der Theilchen in benachbarten Strahlen. Indessen haben Störungen in diesen benachbarten Bewegungen durch dunkle Körper u. s. w. unter den gewöhnlich stattfindenden Bedingungen, mit denen wir es auch namentlich im Auge allein zu thun haben, keinen beträchtlichen Einfluß auf die Bewegungen der Theile des ersten Strahles. Wir können also in solchen Fällen die Bewegung der Aethertheilchen innerhalb eines Strahles annähernd als ein abgeschlossenes mechanisches Ganze ansehen, welches unabhängig von den Bewegungen der benachbarten Strahlen von Statten geht. Dadurch wird die theoretische Untersuchung der Lichtbewegungen außer-

ordentlich vereinfacht und erleichtert. So sind wir denn auch im täglichen Leben gewöhnt vorauszusetzen, daß jeder Lichtstrahl geradlinig fortschreite, ungehindert durch das, was seitlich von ihm geschieht, und in der That sind die Abweichungen von dieser Regel in den gewöhnlich vorkommenden Fällen ganz unmerklich. Diese Auflösung der kugelförmigen Ausbreitung der Lichtwellen in linear sich fortpflanzende Strahlen ist aber namentlich dann nicht mehr erlaubt, wenn das Licht durch so kleine Oeffnungen hindurch geht, daß die Wellenlängen des Lichtes nicht mehr verschwindend klein gegen deren Dimensionen sind. Dann breiten sich sehr merkliche Quantitäten des Lichtes seitlich aus. Ueberhaupt sind Ablenkungen kleiner Theile des Lichtes von dem geraden Wege (Diffraction) überall da zu bemerken, wo Licht an dem Rande undurchsichtiger Körper vorbeigeht. In solchen Fällen muß man auf die Bewegung der ganzen Lichtwellen zurückgehen, um die Phänomene zu erklären. Für die Physik des Auges können wir dagegen die Bewegung des Lichtes unbedenklich als geradlinig betrachten, so lange es in einem homogenen Medium sich fortpflanzt.

Licht und Schall unterscheiden sich in dieser Beziehung sehr auffallend, wenn auch eigentlich nur relativ, von einander. Die Dimensionen der uns umgebenden Körper sind meist so groß, daß die Lichtwellenlängen dagegen als verschwindend klein zu betrachten sind; deßhalb bewegt sich die bei weitem größte Menge des Lichtes nur geradlinigt fort, und es erfordert die Herstellung besonderer Apparate, um die seitliche Ausbreitung kleinerer Theile desselben wahrzunehmen. Die Schallwellen sind dagegen mehrere Zoll oder Fuß lang und zeigen deshalb, wenn sie zwischen festen Körpern hindurchgehen, meist eine sehr bedeutende Seitenausbreitung.

Wenn Licht auf die Grenzfläche zweier verschiedenartiger durchsichtiger Mittel fällt, wird in der Regel ein Theil zurückgeworfen (reflectirt) und bleibt in dem Mittel, in welchem er war; ein anderer Theil geht in das andere Medium über, wird aber dabei in der Regel

von seiner bisherigen Richtung abgelenkt, d. h. gebrochen (refrangirt). Ist die Trennungsfläche glatt (polirt), sind beide Mittel einfach brechend, so wird ein auffallender Lichtstrahl nur nach einer Richtung zurückgeworfen (spiegelnde Reflexion) und nur nach einer Richtung hin gebrochen. Ist die Trennungsfläche rauh, so wird das Licht, auch wenn es nur aus einer Richtung herkommt, nach vielen oder allen Richtungen hin zurückgeworfen und gebrochen, es wird zerstreut (diffuse Reflexion und Refraction).

Während das Licht in einem körperlichen Mittel sich fortbewegt, kann es entweder ungeschwächt bleiben, so weit es auch gehen mag; dann nennen wir das Mittel durchsichtig. Oder es kann das Licht allmälig geschwächt werden, und zwar auf zweierlei Weise. Entweder nämlich wird es von kleinen Sprüngen, Stellen mit verändertem Gefüge u. s. w. diffus zurückgeworfen und gebrochen (falsche innere Dispersion), dabei ist das Mittel trübe und in seinem Innern selbst erleuchtet; oder das Licht verschwindet, ohne von seinem Wege abgelenkt zu sein (Absorbtion). — Da die Absorbtion meistentheils die Strahlen von verschiedener Schwingungsdauer verschieden schnell verschwinden macht, so wird weißes Licht, wenn es durch absorbirende Mittel geht, meistens farbig und das Mittel selbst erscheint gefärbt. —

Bei der Absorbtion der Lichtstrahlen entstehen oft chemische Wirkungen: zuweilen Licht und wahrscheinlich immer Wärme. Wenn wieder Licht entsteht, so sendet jeder Theil des beleuchteten Mittels Licht nach allen Seiten aus, welches sich aber in der Farbe und Zusammensetzung von dem absorbirten Lichte unterscheidet; die Substanz wird selbstleuchtend. Man nennt dieses Selbstleuchten Phosphorescenz, wenn es länger dauert als die Bestrahlung; Fluorescenz oder wahre innere Dispersion, wenn es nur so lange als die Bestrahlung dauert. Bei der Fluorescenz ist das von der Substanz entwickelte Licht immer von größerer

Schwingungsdauer, als das einstrahlende, und somit findet eine Veränderung der Schwingungsdauer (Brechbarkeit) statt, und es wird somit nur dadurch möglich, das dem Auge nicht sichtbare oder kaum sichtbare Licht, dessen Schwingungsdauer kleiner ist als die des gewöhnlich sichtbaren, dem Auge sichtbar zu machen, daß man es auf bestimmte Substanzen, z. B. saures schwefelsaures Chinin, Uranglas, Bernstein, Aufguß von Roßkastanienrinde u. s. w. fallen läßt, wo es dann sichtbar wird. — Diese Substanzen nennt man dann fluorescirende Substanzen. —

Nachdem wir die Hauptpunkte der Undulationstheorie — die heute jedem nur einigermaßen gebildeten Optiker, der sich auch nur practisch mit der Anfertigung optischer Instrumente beschäftigt, bekannt sein müssen — vorangeschickt, wollen wir auf einige einzelne vorher erwähnte Thatsachen näher eingehen.

§. 3. Geschwindigkeit des Lichtes in der Luft nach Olaus Römer.

Der Däne Olaus Römer zeigte zuerst mit großer Evidenz durch seine in den Jahren 1675 und 1676 an den Jupiterstrabanten angestellten astronomischen Untersuchungen, daß das Licht zu seiner Fortpflanzung von den Trabanten bis zur Erde eine bestimmte Zeit erfordere. Jupiter besitzt bekanntlich 4 Trabanten, die, da sie verschiedene Umlaufszeiten und verschiedene Entfernungen von dem Planeten besitzen, ihn nicht gleichmäßig umkreisen, und deshalb stellen sich, wie man es schon durch ein mittelmäßiges Fernrohr beobachten kann, bald 3 Trabanten auf eine Seite und nur einer auf die andere, bald stehen jederseits zwei, bald sind überhaupt nur drei sichtbar, da der vierte in den Schattenkegel des Planeten getreten, also verfinstert ist u. s. w.

Denken wir uns in Fig. 2, Taf. I in F die Sonne, welche von der Erde umkreist wird und in J den Jupiter

mit der Bahn eines seiner Trabanten, so wird, während die Erde die Hälfte ihrer Bahn, also von a nach b zurücklegt, der Jupiter etwa $\frac{1}{24}$ seiner Bahn zurückgelegt haben. Denken wir augenblicklich den Jupiter ohne Bewegung, so wird man während der Erdbewegung von a (der Opposition) nach b (der Conjunction) die Trabanten auf der Ostseite des Schattens heraustreten sehen; vor dieser Zeit der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition werden wir nur die Eintritte des Trabanten in den Schatten beobachten können. Es muß nämlich wohl beachtet werden, daß zur Zeit der Opposition oder der Conjunction sich die Erde in Bezug auf den Jupiter nicht wesentlich ihm nähert oder sich entfernt, sondern in diesen Perioden die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ein- und Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter ist. — Anders ist es dagegen, wenn sich die Erde in c oder in d befindet, also Sonne und Jupiter in Quadratur sind. Dann nämlich, wenn die Erde in c ist, entfernt sie sich in gerader Linie vom Jupiter, und beobachtet man in dieser Stellung der Erde die Zeit, welche zwischen zwei aufeinander folgenden Austritten desselben Trabanten vorgeht, so ist sie größer, als die in a und b beobachtete, und zwar ist sie dann gleich der Umlaufszeit des Trabanten und der Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Weg zu durchlaufen, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat. Es ist wohl klar, daß wenn die Erde nach d angelangt ist und also in gerader Linie nach J hineilt, die Zeit, welche man für zwei aufeinander folgende Eintritte ermittelt hat, kleiner sein wird, als sie die Beobachtungen zur Zeit des Standpunktes der Erde in a und b ergeben; denn dann ist die Zeit gleich der Umlaufszeit des Trabanten weniger der Zeit, die das Licht zum Durchlaufen des Weges brauchte, um welchen sich während dieses Umlaufs die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel der Beobachtung möge folgen:

Austritt des Trabanten 1 nach der Opposition am 11. April

15ʰ 6′ 36,3″

am 14. April

9ʰ 35′ 3,0″

Es ergiebt sich somit durch Abziehen der erstern Zeit von der letztern die Umlaufszeit des Trabanten:

42 Stunden 28 Minuten 26,7 Sek.

Austritt des Trabanten zur Zeit der Quadratur am 14. Juli

10ʰ 21′ 50,3″

darauf der neunte Austritt am 30. Juli

8ʰ 39′ 42″.

Zieht man die erstere Zeit von der letztern ab und dividirt durch 9, so ergiebt sich für die zwischen zwei aufeinander folgenden Austritten liegende Zeit:

42 Stunden 28 Minuten 39 Sekunden.

Zieht man also von dieser Zeit die aus den Aprilbeobachtungen zur Zeit der Opposition gemachte ab, so ergiebt sich 12,3 Sekunden als die Zeit, welche das Licht braucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich in der Periode der Quadratur die Erde von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet. — Da nun die Erde in einer Sekunde eine Bahn von 4 geographischen Meilen zurücklegt, so wird sie während der Umlaufszeit des Trabanten in 42½ Stunden einen Weg von 612,000 Meilen gemacht haben. Um diesen Weg zu durchlaufen gebraucht aber das Licht 12,3 Sekunden, also wird es in 1 Sekunde 49,700 Meilen zurücklegen. — Das Angeführte sollte uns im Allgemeinen mehr die Methode der Untersuchungen als ein genaues Resultat in Bezug auf die Geschwindigkeit des Lichtes liefern, denn einmal bewirken die verschiedenen Anziehungen des Planeten auf seine Trabanten, die in ihrem Laufe gestört werden, daß diese nicht immer durch die Mitte des Jupiterschattens gehen und deshalb die Ein- und Austritte

bald früher bald später erfolgen, und dann, was sich als nothwendige Folge daraus ergiebt, kann die genaue Umlaufszeit des Trabanten nur aus einer größeren Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie ist, aus mehrfachen Beobachtungen entlehnt, 42 Stunden 28 Minuten 35 Sekunden.

Kennt man nun genau die Umlaufszeit des Trabanten und beobachtet einen Austritt kurz nach der Opposition, also wenn sich die Erde etwa in a' befindet, so kann man durch Rechnung finden, wann etwa der 50ste oder 80ste Austritt desselben Trabanten stattfinden wird. Während der 80 Umläufe des Trabanten um den Planeten hat sich jedoch die Erde bis a'' bewegt, und die Beobachtung ergiebt, daß der berechnete und der beobachtete Austritt nicht übereinstimmen, sondern daß letzterer 15 Minuten ungefähr später erscheint. Diese Zeitdifferenz wird aber eben dadurch hervorgerufen, daß das Licht einen größern Weg von J nach a'' als bis a' zurückzulegen hat und somit findet man allgemein die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch die beobachtete Verspätung dividirt. Auf diesem Wege ergiebt sich dann die Geschwindigkeit des Lichtes nahe an 41,179 preußische Meilen in der Sekunde. Man kann, wie sich von selbst versteht, hiernach immer die Zeit berechnen, die ein Lichtstrahl gebraucht, um von einem Planeten oder Fixstern, dessen Entfernung von uns bekannt ist, bis zur Erde zu gelangen; man hat 8' 13'' als das Zeitmaß gefunden, welches erforderlich ist um einen Sonnenstrahl auf die Erde zu schicken, ebenso ist es natürlich, daß viele Jahre vergehen müssen, damit von den fernsten Gestirnen das Licht zu uns dringe und somit auch erklärlich, daß jene fernen Welten längst untergegangen sein mögen und wir den wandernden Lichtstrahl doch erblicken. —

§. 4. Geschwindigkeit des Lichtes nach Messungen von Fizeau.

In der neuesten Zeit ist es dem französischen Gelehrten Fizeau gelungen, auf einfachere Weise die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen, und es ist das von ihm eingeschlagene Verfahren in Poggendorff's Analen der Physik bekannt gemacht worden. — Lassen wir der Deutlichkeit wegen erst im Allgemeinen das Princip vorangehen. Hat man eine gezahnte Scheibe, so daß die Dimensionen der Zähne und Lücken gleich groß und in bestimmter Anzahl vorhanden sind, so kann man diese Scheibe — ganz ähnlich wie es schon viel früher Wheatstone mit einem Spiegel that, um dessen Axe eine Schnur gelegt und dann gezogen wurde, so daß dadurch der Spiegel in eine schnelle Rotation versetzt wurde, — in eine schnelle Bewegung setzen, so daß der Vorübergang eines Zahnes oder einer Lücke vor einem festen Punkte einen Zeitraum von $\frac{1}{10000}$ Sekunde erfordert. In dieser Zeit hat das Licht einen Weg von 4 Meilen zurückgelegt. Lassen wir nun einen Lichtstrahl durch eine Oeffnung dieses gezahnten Rades hindurchgehen nach einem entfernten Spiegel hin, so wird natürlich dieser Strahl reflectirt in derselben Richtung zurückkommen, in welcher er ging, und nun je nach der Schnelligkeit der Umdrehung entweder durch eine Lücke dringen oder einen Zahn treffen. — Auf diese Wahrheit gründet sich nun das Princip Fizeau's, das er nun folgendermaßen practisch zur Geltung gebracht hat. —

Er stellte zwei astronomische Fernröhre F und F' in einer bestimmten Entfernung von 8633 Meter (der Meter = 3,186 Fuß preußisch) gegen einander auf, so daß man durch das Ocular jedes das Objectiv des andern sehen konnte. In dem Fernrohre F ist zwischen dem Brennpunkte des Objectivs und dem Ocular unter einem Winkel von 45° geneigt ein durchsichtiger Spiegel angebracht, der von einer seitlich stehenden hellleuchten-

den Lampe L das Licht so empfängt, daß es nach dem Objective desselben Fernrohres geworfen wird. Damit die Lichtstrahlen gut concentrirt auf den Spiegel s fallen, ist in der Wand des Fernrohres eine Linse oder ein Linsensystem angebracht. — Die von dem Spiegel reflektirten Strahlen treten nun parallel durch das Objektiv des Fernrohres L heraus in das Objektiv des Fernrohres F hinein und vereinigen sich in dem Brennpunkte des letztern, in welchem ein Planspiegel V′ angebracht ist, so daß die Strahlen, dort angekommen, auf demselben Wege zurückreflektirt werden, um sich ihrerseits wieder in dem Brennpunkte N des Objektives F zu concentriren. Hier in dem Brennpunkte befindet sich aber die Ebene des Rades, das in der der Lampenöffnung entgegengesetzten Seitenwand angebracht ist. Sieht nun das Auge durch das Ocular des Fernrohrs F, so sieht es, je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades, bald das Gesichtsfeld dunkel, bald einen leuchtenden Punkt in demselben. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades giebt ein Zählerwerk genau an, und man findet, daß wenn 12,6 Umdrehungen in der Sekunde durch das Rad gemacht werden, das Gesichtsfeld dunkel, bei 25,2 hell, bei 37,8 dunkel u. s. w. erscheint. Die Scheibe hat 720 Zähne und ebenso viele Einschnitte und beträgt ihre jedwede Breite $\frac{1}{1440}$ vom Umfange des Rades, bei 12,6 Umdrehungen in der Sekunde dauert es also $\frac{1}{1440 \cdot 12,6} = \frac{1}{18144}$ Sekunden, bis eine Zahnlücke den Brennpunkt J passirt; dieser Lichtstrahl aber, welcher durch diese Zahnlücke geht, kommt gerade vom andern Fernrohre zurück, während ein Zahn im Punkte f ist; folglich hat das Licht in $\frac{1}{18144}$ Sekunden einen Weg von $2 \cdot 8633 = 17266$ Metern zurückgelegt, und somit ergiebt sich die Geschwindigkeit des Lichtes $17266 \cdot 18144 = 313285304$ Meter oder, da 7420 Meter auf

eine geographische Meile gehen, 42221 geographische Meilen in der Sekunde, ein Resultat, das durch eine größere Anzahl von Beobachtungen sich noch modificirt und dann nahe dem vorhin angegebenen gleich kommt.

§. 5. Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser nach Foucault.

Auch Foucault hat eine allgemeine Methode zur Messung der Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und in Wasser angegeben, deren Principien sich im Allgemeinen in Folgendem zusammenfassen lassen:

Ein Bündel direkten Lichtes geht zunächst durch eine quadratische Oeffnung, dicht dahinter durch ein Gitter von elf senkrechten Platindrähten (au millimétre) und darauf zu einer vortrefflichen achromatischen Linse von großer Brennweite, die in einem Abstande, geringer als das Doppelte dieser Weite, vor dem Gitter aufgestellt ist. Das Bild des Gitters sucht sich jenseits unter mehr oder weniger vergrößerten Dimensionen zu gestalten, allein, nachdem das Bündel durch die Luft gegangen ist, fällt es, bevor es den Brennpunkt erreicht hat, auf den rotirenden Spiegel und, indem es von diesem mit seiner doppelten Winkelgeschwindigkeit herumgeführt wird, giebt es im Raume ein Bild vom Gitter, welches mit großer Schnelligkeit fortrückt. In einer ziemlich beschränkten Strecke seiner Bahn trifft dieses Bild die Oberfläche eines Hohlspiegels, dessen Krümmungsmittelpunkt auf dem Mittelpunkte der Rotationsaxe des Spiegels gelegen ist, und während der ganzen Zeit, daß es dessen Oberfläche bestreicht, schlägt das Licht dieses Bildes den Rückweg ein und fällt wieder auf das Gitter in einem Bilde von gleicher Größe. Um dieses Bild zu beobachten ohne das ursprüngliche Bündel zu verdecken, stellt man schief gegen dasselbe, dicht bei dem Gitter, zwischen diesem und der Objektivlinse ein entweder dickes oder dünnes Parallelglas auf, und

beobachtet mit einem kräftigen Ocular die seitwärts geworfenen Bilder. Ist das Glas dick, so sind die beiden Bilder mehr oder weniger getrennt, ist es dünn, so überdecken sie einander größtentheils und man giebt dem Glase eine solche Neigung gegen das Bündel, daß die schwarzen äquistanten Linien, mit denen dasselbe durchzogen ist, einander überdecken. Hierdurch benutzt man die Reflexionen von beiden Seiten. Der rotirende Spiegel bringt dieses Bild bei jeder Umdrehung wieder zum Vorschein, und wenn die Geschwindigkeit der Rotation gleichförmig ist, bleibt es unbeweglich im Raume. Bei Geschwindigkeiten, welche nicht 30 Umläufe in der Sekunde übersteigen, sind die successiv erscheinenden Bilder mehr oder weniger gesondert, allein über 30 Umläufe hinaus sind die Eindrücke auf das Auge bleibend und das Bild erscheint vollkommen ruhig.

Es ist leicht zu beweisen, daß der Spiegel, indem er sich schneller und schneller dreht, das Bild verschieben muß, wie wenn er es im Sinne seiner Bewegung mit sich führte. Denn das Licht, welches durch die Spalte des Gitters gegangen ist, kehrt nicht eher zu demselben zurück als bis es an dem rotirenden Spiegel zwei Reflexionen erlitten hat, getrennt durch die Dauer des doppelten Ganges zwischen dem rotirenden Spiegel und dem Hohlspiegel. Wenn nun der Spiegel rasch rotirt, kann die Dauer dieses Hin- und Herganges, selbst bei einer beschränkten Länge von 4 Metern nicht für Null gelten, und vielmehr hat der Spiegel Zeit seine Lage beträchtlich zu ändern, und dies verräth sich durch eine Verschiebung des Bildes, welches von dem zurückkehrenden reflektirenden Strahl erzeugt wird. Streng genommen geschieht dieses immer, so wie der Spiegel selbst langsam rotirt; allein beobachtbar wird der Vorgang erst, wenn er eine gewisse Größe erreicht und man besondere Vorsichtsmaßregeln anwendet. Viele Anstrengungen waren darauf gerichtet, diese Ablenkungen so merklich wie möglich zu machen.

Die Hauptschwierigkeit, welche zu überwinden ist, entspringt daraus, daß das Licht bei einer so verwickelten Bahn sich zu keinem recht scharfen Brennpunkte vereinigen kann; diese Einschnürung des Bündels bei seiner zweimaligen Reflexion an der sehr kleinen Fläche des rotirenden Spiegels vernichtet nothwendig die Schärfe des Bildes und bringt unvermeidlich in dessen Umrissen eine Störung zu wege. Eben deßhalb nahm ich, sagt Foucault, als Lichtquelle die linearen gleichabständigen Räume, welche ein sehr feines Drahtgitter darbietet. Obwohl das Bild, welches man dadurch erhält, niemals scharf ist, so erscheint es doch unter der Gestalt eines Systems von weißen und schwarzen Streifen, die den farblosen Franzen ähnlich sind und von denen jeder ein wohlbestimmtes Maximum und Minimum von Licht darbietet. Diese hellen und dunklen Räume sind demnach, wie die Drähte des Gitters selbst, $\frac{1}{11}$ Millimeter von einander entfernt, und wenn man zur Beobachtung derselben in $\frac{1}{10}$ Millimeter getheiltes Mikrometer in dem Ocular einbringt, verrichten die beiden Liniensysteme den Dienst eines Nonius und erlauben ohne Unsicherheit eine Verschiebung von 0,01 Millimeter in dem Bilde wahrzunehmen.

Aus der schon bekannten Geschwindigkeit des Lichtes findet man, daß man, bei einem Objektive von 2 Metern Brennweite und einer doppelten Weglänge von 4 Metern dem Spiegel keine übermäßige Geschwindigkeit (6—800 Umläufe) zu geben braucht, um Verschiebungen von 0,2 bis 0,3 Millimetern zu erhalten. Allein es giebt ein ganz einfaches Mittel die Größe dieser Verschiebungen zu verdoppeln, und dies kann in manchen Fällen von Nutzen sein; ich habe es mehrmals versucht und mich versichert, daß es gelingt. Es besteht darin, daß man, wie Bessel angegeben, den vom rotirenden Spiegel reflektirten Lichtbündel mit einem dicht daneben befestigten Hülfsspiegel auffängt und so vor und nach seiner Ankunft am Hohlspiegel zum rotirenden Spiegel zurücksendet. Durch die Betrachtung des virtuellen Bildes

des rotirenden Spiegels in dem Hülfsspiegel erlangt man dasselbe, was Herr Arago mit Hülfe zweier gleichzeitig und entgegengesetzt rotirenden Spiegel, und sein Bild wird immer strenge symmetrische Lagen haben, allein man geräth in die Uebelstände einer bedeutenden Verringerung der Lichtstärke und einer größeren Verwaschung des Bildes.

Dies ist die Einrichtung des optischen Apparats, der mir erlaubt hat, die Fortpflanzung der Lichtstrahlen nachzuweisen. Meine ersten Versuche gelangen in Luft bei einer doppelten Weglänge von 4 Metern mit einem Spiegel, der nicht mehr als 25 bis 30 Umgänge in der Sekunde macht.

Um sie im Wasser auszuführen, braucht man nur zwischen den rotirenden Spiegel und den Hohlspiegel eine Säule von dieser Flüssigkeit einzuschalten, begrenzt von zwei Parallelgläsern, in einer konischen Metallröhre, die inwendig gefirnißt ist, damit das Wasser klar bleibe; auch muß man dafür sorgen, daß die Endgläser keine Spannung in ihren Fassungen erleiden, und muß dem Uebelstande abhelfen, der durch die Einschaltung der 3 Meter dicken Wasserschicht aus der Vergrößerung der Brennweite entspringt. Es gelingt dann leicht mit dem geschwächten und grünlichen Lichtstrahl, den das Wasser durchläßt, ein eben so deutliches Bild zu erhalten, wie sich ohne Dazwischenkunft der Flüssigkeit bildet. Man braucht dann nur den Spiegel in Rotation zu versetzen und seine Geschwindigkeit genau zu messen, wenn man daraus die absoluten Geschwindigkeiten des Lichtes in Luft und Wasser herleiten will, oder gleichzeitig mit beiden Mitteln zu operiren, wenn man blos den Sinn des Unterschiedes dieser beiden Geschwindigkeiten kennen lernen will.

Um einen Spiegel in rasche Rotation zu versetzen, hat man bisher zwei Mittel angewandt. Herr Wheatstone bediente sich dazu eines Fadens, der um eine mit Axe versehene Rolle geschlungen ist; er erhielt damit eine Geschwindigkeit von 6 bis 800 Umläufen in der

Sekunde. Nach ihm hat Herr Breguet, durch Benutzung der vortrefflichen Eigenschaften des Wheatston'schen Getriebes eine Geschwindigkeit von 1000 bis 1500 Umläufen erreicht. Es scheint, daß diese beiden Arten zur Mittheilung der Bewegung den Fehler haben, das Instrument zu schnell zu zerstören, daß sie nicht erlauben, die Geschwindigkeit auf eine continuirliche Weise zu ändern oder sie eine hinlängliche Zeit constant zu erhalten.

Der hier benutzte Apparat ist, glaube ich, diesen Einwürfen nicht ausgesetzt; er theilt dem Spiegel eine Geschwindigkeit mit, die man nach Belieben von 30 bis 800 Umläufe verändern, hinreichend constant erhalten, und während der Beobachtung selbst messen kann.

Er besteht aus einer kleinen Dampfturbine, ziemlich einer Sirene ähnlich, aber einen verhältnißmäßig schwachen Ton gebend. Der angewandte Dampf, der unter einem Drucke von 0,5 Atmosphäre aus dem Dampfkessel hervorkommt, wird im Moment, wo er in die Maschine tritt, durch eine Weingeistlampe überhitzt. Er entweicht durch zwei Oeffnungen, schief eingebohrt, auf einem halben Durchmesser, in die obere Wand der Kammer, über welcher der Teller der Turbine befindlich ist; letzterer hat 24 Löcher, die in entgegengesetztem Sinne neigen und durch dünne Zwischenwände von einander getrennt sind. Diese Wände sind die Schaufeln der Turbine, die wegen ihrer geringen Höhe nicht gekrümmt zu sein brauchen. Die Ausflußöffnungen des Dampfes sind im Durchmesser fünf- bis sechsmal so groß als die Dicke der Zwischenwände, so daß der Dampf stätig ausströmt und nur einen geringen Ton giebt.

Sich mit der Abschätzung der Geschwindigkeit durch den Ton begnügend, hatte F. durch zwei successive Beobachtungen bereits ermittelt, daß die Ablenkung des Bildes nach dem Durchgange des Lichtes durch Luft geringer ist als nach dem Durchgange durch Wasser. F. hatte auch einen andern bestätigenden Versuch angestellt,

darin bestehend, daß er das Bild beobachtete, welches bei gleichzeitigem Durchgang des Lichtes theils durch Luft, theils durch Wasser entstand. Bei geringen Geschwindigkeiten lagen die Streifen des gemischten Bildes fast in gegenseitiger Verlängerung, allein bei Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit verschob sich das Bild, und an der Grenzlinie seiner beiden Hälften waren die Streifen gebrochen, wobei die Streifen der Wasserhälfte im Sinne der allgemeinen Ablenkung vorauslagen. Ueberdies erwiesen sich die Ablenkungen, bei Rücksicht auf die in Luft und Wasser durchlaufenen Wege, ziemlich proportional den Brechungsindexen. Diese Resultate deuten darauf, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser geringer als in Luft ist, und bestätigen also, nach den Ansichten des Herrn Arago, vollständig die Undulationstheorie.

Zu bemerken ist, wie es schon Herr Arago gethan, daß der Versuch, indem er in dem Wasser eine geringere Geschwindigkeit als in der Luft nachweist, unwiderruflich zwischen beiden Systemen entscheidet; hätte man das Umgekehrte gefunden, so wäre die Newton'sche Theorie noch haltbar, aber die Undulationstheorie würde nicht nothwendig umgestürzt sein, da es möglich ist, den Aether so constituirt anzunehmen, daß, in welchem Sinne die Geschwindigkeit sich auch bei Aenderung des Mittels ändere, eine Erklärung gegeben werden kann.

§. 6. Der Begriff des Sehewinkels.

Das Gesetz des geradlinigen Sehens ist die geometrische Grundlage, nach welcher die Gestaltung sichtbarer Dinge, ihre Lage gegeneinander u. s. w. beurtheilt werden muß. Wir sehen richtig, wenn die Lichtstrahlen ohne Hinderniß geradlinig ins Auge kommen, falsch aber da, wo dieser geradlinige Fortgang unter-

brochen wird, wie z. B. bei den Erscheinungen, welche uns Brechung und Spiegelung darbieten.

Auf den geradlinigen Fortgang der Lichtstrahlen gründet sich zuerst die Construktion des Sehewinkels. Es sei A B ein Objekt und das Auge in O (Taf. I, Fig. 1). Der Winkel A O B, welchen die von dem äußersten Punkte des Objektes kommenden Strahlen A O, B O bei ihrem Durchschnitt am Auge mit einander bilden, heißt der Sehewinkel von A B. Nach ihm richtet sich die scheinbare Größe des Objektes, daher auch Sehewinkel und scheinbare Größe für ganz gleichbedeutend genommen werden. So ist z. B. die scheinbare Größe der Sonne oder des Mondes nichts anders, als der Sehewinkel dieser Himmelskörper.

Alle Objekte C D, E F, welche mit ihren äußersten Endpunkten die Schenkel des Sehewinkels von A B berühren, haben gleiche scheinbare Größe mit A B, denn von dem vordern werden dann alle hintern verdeckt. Also ist die scheinbare Größe sehr verschieden von der wahren, welche man erhält, wenn man die Höhe des Gegenstandes mit irgend einem Maßstabe mißt. Ein kleines Objekt kann mit einem weit größern eine gleiche scheinbare Größe haben, oder noch mehr, wenn ersteres dem Auge näher liegt, als das letztere. So kann man z. B. durch die Oeffnung eines Fensters eine weite Gegend übersehen. — Aber ein Gegenstand erscheint um so größer, je größer sein Sehewinkel, und umgekehrt. In der Regel betrachtet man nur kleine Sehewinkel, die nicht viel über einen Grad gehen. Wir wollen annehmen, daß das Objekt A B (Taf. I, Fig. 2) auf dem einen Schenkel A O seines Sehewinkels senkrecht steht. Für diesen Fall lassen sich zwischen der wahren und scheinbaren Größe eines Objektes und seiner Entfernung A O sehr einfache Vergleichungen anstellen. Sie sind in folgenden Sätzen enthalten:

1) Sind die Entfernungen zweier Objekte gleich, so verhalten sich ihre wahren Größen, wie die scheinbaren.

2) Sind die scheinbaren Größen gleich, so verhalten sich die wahren, wie die Entfernungen.

3) Sind die wahren Größen gleich, so verhalten sich die scheinbaren umgekehrt, wie die Entfernungen.

Ist z. B. bei gleichen Entfernungen die scheinbare Größe eines Objektes 2, 3, 4 mal u. s. w. größer, als die eines andern, so ist auch die wahre Größe des ersten 2, 3, 4 mal größer, als die des zweiten. Haben Objekte gleiche scheinbare Größe, so ist die wahre Größe des 2, 3, 4 mal weitern auch 2, 3, 4 mal größer. — Rückt endlich ein Objekt in die 2, 3, 4 fache Entfernung hinaus, so vermindert sich seine scheinbare Größe bis auf die Hälfte, das Drittel, Viertel.

Zusatz. Das Objekt AB (Taf. I, Fig. 2) ist eine Tangente des Sehewinkels A O B für den Halbmesser O A. Setzt man daher A B = h, O A = a, Winkel A O B = O, so ist h = a tang O
oder da die Tangenten kleiner Winkel nahe ihren Bogen proportional sind:

$$h = a \cdot O$$
$$O = \frac{h}{a}$$
$$a = \frac{O}{h}$$

und in diesen drei Gleichungen ist der Bogen O in Theilen des Halbmessers zu nehmen, daher man ihn mit 206265 multipliciren muß, um ihn in Sekunden zu verwandeln.

Unter welchem Winkel erscheint z. B. ein Stab von 6 Fuß Höhe in der Entfernung von 2000 Fuß. Hier ist h = 6, a = 2000, daher $O = \frac{6}{2000}$ in Theilen des Halbmesser, also in Secunden $O = \frac{6}{2000} \times 206{,}265 =$ 418, 8″ = 6′ 58″ • 8.

Wie groß ist ein Stab, der in einer Entfernung von 1822 Fuß unter einem Winkel von 5′ = 300″ erscheint. Hier ist a = 1822, O = 300, daher h = 1822 × 300 = 546600. Dieses Produkt muß aber noch

mit 206265 dividirt werden, weil O eigentlich in Theilen des Halbmessers ausgedrückt sein müßte. Daher h = 2,65 Fuß.

Wie weit ist ein Stab von 5 Fuß Höhe, der unter einem Winkel von 1′ = 60″ erscheint? Hier ist h = 5,0 = 60″, daher a = $\frac{5}{60}$ × 206265 = 17188 • 7 Fuß.

§. 7. Die scheinbare Größe eines Objektes.

Man muß den hier gegebenen Begriff von scheinbarer Größe nicht mit dem verwechseln, was uns unser Urtheil über die Größe der gesehenen Dinge sagt. Dieses richtet sich nicht immer nach den Sehewinkeln, sondern wird meistens noch durch die Gewohnheit geleitet, oft auch durch die Einbildungskraft irre geführt. Es kommt uns, z. B. ein nahe stehender Knabe immer noch kleiner vor, als ein fern stehender Mann, obgleich ersterer unter einem größern Sehewinkel erscheint, als der letztere, weil wir aus der Erfahrung wissen, daß ein Mann größer ist, als ein Knabe. Am auffallendsten zeigte es sich, wenn man mehrere Personen durch ein Fernrohr den Jupiter betrachten läßt; der eine wird ihn vergleichen mit einem Viergroschenstück, der andere mit einem Groschen, der dritte mit einer Erbse u. s. w. Alles richtet sich hier nach der Entfernung, in welche des Beobachters Einbildungskraft das Bild des Jupiters versetzt.

Ueber die Entfernungen der gesehenen Dinge sagt uns der Sehewinkel nichts; sie können eigentlich gar nicht gesehen werden, sondern unser Urtheil darüber wird allein durch die Erfahrung bestimmt. Hierbei wirken sehr mannichfaltige Umstände, z. B. die Größe des Sehewinkels, unter dem ein Gegenstand erscheint, dessen wahre Größe man schon kennt, die Stärke der Beleuchtung und dergleichen, meistens sehr dunkel und unbestimmt, daher wir oft bedeutend irren. Daß wir nur aus der Erfahrung wissen, ob gesehene Dinge näher

oder ferner liegen, bestätigen solche Personen zur Genüge, die erst spät den Gebrauch ihres Gesichtssinnes üben konnten, ihnen erschien eine Landschaft wie eine mit bunten Farben überzogene Fläche.

Aus Entfernung und scheinbarer Größe beurtheilen wir die wahre Größe der Dinge, daher sagt uns unser Augenmaß von der wahren Größe solcher Dinge nichts, von deren Entfernung wir keine Erfahrung haben. Dies beweisen die Himmelskörper.

Wenn der Sehewinkel sehr klein wird, so kann ihn das Auge nicht mehr mit Deutlichkeit fassen. Der kleinste Sehewinkel fällt nach Verschiedenheit der Augen verschieden aus und liegt zwischen 30 und 60 Sekunden. Smith fand, daß man einen schwarzen Punkt auf weißem Grunde, oder einen weißen Fleck auf schwarzem Grunde nicht mehr deutlich sehen könne, wenn der Sehewinkel jener Flecken 40 Sekunden betrage, oder der der Fleck mehr, als das 5156 fache seiner Breite entfernt sei. Hierbei kommt indeß sehr vieles auf die Stärke des Lichtes an. So sieht man Fixsterne, deren Sehewinkel noch nicht eine Sekunde beträgt, und Striche werden in längern Entfernungen bemerkt als Punkte, weil die ersten mehr empfindende Theile des Auges treffen, als die letzten. Tobias Mayer schließt aus Versuchen mit schwarzen Flecken auf sehr weißem Papiere, daß der kleinste Sehewinkel im Durchschnitte 34 Sekunden betrage.

Hieraus erklären sich viele Erscheinungen. So sehen wir nur den Umriß eines Baumes und nicht seine Blätter, wenn ihr Gesichtswinkel weniger als 40 Sekunden beträgt. Von einem fernen Kornfelde sehen wir nicht die einzelnen Aehren, sondern sie schwimmen zu einer wogenden Fläche zusammen. Eine sehr lange Allee scheint in der Ferne zusammen zu laufen und zwei sehr nahe stehende Fixsterne scheinen dem bloßen Auge nur ein Stern zu sein, und nur die bedeutende Vergrößerung des Fernrohres vermag sie getrennt darzustellen.

Wir sehen nur die Gegenstände deutlich, welche nahe um die Augenaxe liegen. Diese ist diejenige gerade Linie, welche durch den Mittelpunkt der Pupille geht und senkrecht auf der Oberfläche des Auges steht. Wir richten sie allemal auf den Gegenstand, den wir recht deutlich sehen wollen. Indeß sehen wir doch zugleich auch diejenigen Gegenstände ziemlich deutlich mit, welche etwa um einen Winkel von 45° von der Augenaxe entfernt sind. Daher beträgt der größte, für das Auge noch faßliche Sehewinkel etwa 90°. Diese Ausdehnung ist vielleicht zu groß und man hat die Grenze des größten Sehewinkels behufs perspektivischer Zeichnungen bis auf 53° herabgesetzt. Freilich kommt auf eine genaue Bestimmung hier nichts an und es läßt sich auch bei der Verschiedenheit der Augen keine solche geben.

§. 8. Die optische Kammer.

Gleichfalls aus dem Gesetze des geradlinigen Fortganges der Lichtstrahlen ist die optische Kammer zu erklären (Taf. I, Fig. 3). Darunter verstehen wir ein Zimmer ABCD, welches bis auf eine sehr kleine Öffnung E in einem Fensterladen gänzlich verfinstert ist. Die Wirkung dieser Vorrichtung ist die, daß auf einer in einiger Entfernung von der Oeffnung E aufgestellten weißen Fläche DA die Gegenstände außerhalb des Zimmers sich verkehrt und verkleinert zeigen, wenn der Gegenstand von der Oeffnung E weiter absteht, als die Entfernung der Fläche, worauf sich die Bilder abmalen.

Der Punkt N des Objekts MN sendet einen Lichtstrahl Nn durch die Oeffnung E und trifft die Wand AD in n. Da nun jeder Körper, welcher Licht empfängt, auch wieder Licht zurückgiebt, so muß man in n ein Bild des Punktes N sehen. Ebenso geht ein Lichtstrahl von M durch E bis m und bewirkt hier ein Bild des Punktes M. Auf ähnliche Weise entsteht ein Bild von jedem Punkte des Objektes MN und es

zeigt sich auf der Wand ein vollständiges Bild m n von M N, nur umgekehrt, wie aus der Figur ohne Weiteres erhellt. — Bild und Gegenstand erscheinen von E aus gesehen unter gleichem Winkel, und wenn D A mit M N parallel ist, so verhalten sich wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke n E m und N E M Bild und Gegenstand der Größe nach, wie die Entfernungen von E.

Die Oeffnung E sollte eigentlich ein mathematischer Punkt sein, damit von jedem Punkte des Objektes M N nur ein einziger Strahl hindurch gehen könnte. Da aber dieses nicht möglich ist, so hat das Loch, wegen der Dicke des Bretes, die Form eines Cylinders und muß hinreichend groß sein, damit nicht etwa die Strahlen, welche schräg gegen das Bret auffallen, schon von der innern Wand des Cylinders aufgefangen und verhindert werden, auf die Bildesfläche D A zu gelangen. Hierdurch geschieht es nun, daß von einem Punkte M des Objektes viele divergirende Strahlen M m, M p u. s. w. durch das Loch E gehen, von welchem jeder ein Bild des Punktes M auf A D liefert. Alle diese Bilder liegen in der Fläche eines Kreises oder einer Ellipse, welche durch den Durchschnitt des Strahlenkegels M m p mit der Fläche der Wand sich ergiebt. Hierdurch muß nothwendig eine Undeutlichkeit entstehen, weil das Bild des Punktes m nicht wieder ein Punkt, sondern eine Fläche ist. Auch werden auf diese Weise die Bilder mehrerer Punkte in einander greifen und einander schwächen, wodurch Verworrenheit und Unbestimmtheit der Umrisse entsteht. Indessen behält das Bild immer noch eine ziemliche Deutlichkeit.

Wird das Loch E größer gemacht, so wird auch die Undeutlichkeit größer, weil der Strahlenkegel M p m, und also auch das Bild p m vom Punkte M breiter wird. Dann greifen die Bilder von noch mehr Punkten in einander und schwächen einander. Oeffnet man endlich ein ganzes Fenster, so hat der Strahlenkegel oder die Strahlenpyramide eines jeden Punktes M des Objektes die Oeffnung des Fensters zur Grundfläche, und

an der Wand wird seine Grundfläche noch größer. Das Bild von M verbreitet sich also in einen so großen Raum, daß es nicht mehr als solches erkannt werden kann, und da sich überdies die Bilder aller Punkte mit einander vermischen, so entsteht der bloße Eindruck von Licht an der Wand A D.

Man erhält weit deutlichere Bilder, wenn man die Oeffnung E größer macht, in dieselbe ein Linsenglas einsetzt und die Wand in dessen Brennpunkt rückt. Dieses vereinigt nämlich alle von einem Punkte kommenden Strahlen wieder in einem Punkte.

Der Erfinder dieser lehrreichen Vorrichtung ist der Neapolitaner Johann Baptista Porta um die Mitte des 16. Jahrhunderts. —

§. 9. Der Schatten, Kernschatten, Halbschatten.

Wenn ein leuchtender Körper sein Licht gegen einen dunkeln undurchsichtigen wirft, so bleibt hinter diesem ein Raum, in welchen gar kein Licht dringt und den man Schatten nennt. Schatten ist also nichts anderes, als ein Mangel an Licht und wird also nur durch das ihn umgebende Licht gesehen.

Da die Lichtstrahlen in geraden Linien fortgehen, so ist es leicht die Gestalt des dunkeln Raumes anzugeben, welchen ein dunkler Körper verursacht. Stellen wir uns zuerst den leuchtenden Körper als einen Punkt vor. Zieht man von diesem aus durch alle äußersten Punkte des dunkeln Körpers gerade Linien, so schließen diese den Schattenraum ein, welchen der Körper verursacht. Folglich ist der Schattenraum eine abgestumpfte Pyramide, deren Seitenflächen im Lichtpunkte zusammenstoßen. Nach Verschiedenheit des schattengebenden Körpers ist die Pyramide verschieden. Für eine Kugel geht sie in einen Kegel über. Der Durchschnitt des Schattenraumes mit einer Ebene wird um so größer, je weiter

er vom strahlenden Körper entfernt ist, und ist im Verhältniß dieser Entfernung.

Liegt der strahlende Punkt unendlich weit entfernt, so sind die Lichtstrahlen als parallel anzusehen. Die Schattenpyramide wird alsdann ein Schattenprisma und der Schattenkegel ein Schattencylinder.

Diese Konstruktion des Schattenraumes erleidet einige Modification, wenn der leuchtende Körper kein bloßer Punkt ist, sondern, wie es immer der Fall ist, eine gewisse Ausdehnung besitzt. Hier können sogar bedeutende Schwierigkeiten eintreten. Die einfachsten, aber auch die einzig wichtigen Beispiele kommen in der Astronomie bei der Bestimmung des Erd- oder Mondschattens vor, welche Körper dabei als vollkommene Kugeln vorausgesetzt werden.

Sei also S die Sonnenkugel, T die Erde (Taf. V, Fig. 6 oder Taf. I, Fig. 4). Man verbinde die Mittelpunkte beider durch eine gerade Linie (Axe) und suche auf der Verlängerung derselben den Punkt X, wo beide Kugeln unter gleichem Winkel AXC gesehen werden. In diesem Punkte hört der Schatten auf, wenn die leuchtende Kugel größer ist, als die dunkle. Zieht man also von X aus an die Erdkugel Berührungslinien XB, XD, so grenzen diese den Schattenraum ein. Dieser hat demnach die Form eines Kegels. — Aus der Größe der Halbmesser beider Kugeln und dem Abstande ihrer Mittelpunkte kann man die Länge des Schattens TX berechnen oder konstruiren. — Die Erdkugel T senkt sich also in den Schattenkegel BXD so weit ein, bis sie denselben berührt, und hieraus ist klar, daß der Theil ihrer Oberfläche, wohin keine Sonnenstrahlen mehr dringen können, kleiner ist, als der von der Sonne erleuchtete, oder die Tagseite der Erde ist größer, als ihre Nachtseite.

Ist der dunkle Körper größer, als der leuchtende, so fällt der Punkt X (Taf. I, Fig. 5), von welchem aus beide Kugeln unter gleichem Winkel gesehen werden, dem Schatten gegenüber. Dieser ist also in diesem

Falle ein abgestumpfter Kegel, der sich um so mehr ausbreitet, je weiter er vom Schatten gebenden Kegel entfernt ist. Hier leuchtet auch ein, daß die Lichtseite des erleuchteten Körpers kleiner ist, als die dunkle, so wie z. B. die größere Erde vom kleinern Monde nicht ganz zur Hälfte beschienen wird.

Den vorher beschriebenen Schatten nennt man den Kernschatten oder den vollkommenen Schatten. Geht das Licht von einem einzigen Punkte aus, so giebt es außerdem auch noch einen sogenannten Halbschatten.

Darunter verstehen wir den Raum, wohin zwar noch Lichtstrahlen dringen können, aber nicht von jedem Punkte des leuchtenden Körpers.

Um den Raum zu finden, welchen der Halbschatten einnimmt für den Fall, daß beide Körper, der leuchtende und der dunkle, Kugeln sind, muß man auf der Linie S T (Taf. I, Fig. 4), welche durch beide Mittelpunkte geht, den Punkt V suchen, von welchem aus gesehen beide Kugeln unter gleichen Winkeln erscheinen. Berührungslinien, welche von V aus an die Kugel S gezogen werden, berühren auch rückwärts verlängert die Kugel T und der Raum M N H G, welchen alle diese Berührungslinien begrenzen, begreift den Halbschatten. Denn es ist klar, daß in diesen Raum, zwar Lichtstrahlen eindringen, aber nicht von jedem Punkte des leuchtenden Körpers. Ein Auge nämlich, welches sich im Raume des Halbschattens befindet, sieht die leuchtende Kugel nur zum Theil, ein Stück derselben wird allemal vom dunkeln Körper verdeckt, wie es z. B. der Fall ist, wenn wir eine partiale Sonnenfinsterniß sehen, wo wir uns in der That im Halbschatten des Mondes befinden. Hieraus folgt auch, daß der Halbschatten in der Nähe des Kernschattens am dichtesten ist und sich mit ihm allmälig verwischt, daher es z. B. bei Mondfinsternissen schwer ist, die Grenze des Halb- und Kernschattens genau zu beobachten. Nach außen hin aber wird

der Halbschatten immer lichter und verliert sich nach und nach ins volle Licht.

Wenn mehrere Lichte vorhanden sind, welche wegen ihrer Kleinheit als Punkte betrachtet werden können, so giebt es zwar auch mehrere Schatten von verschiedener Stärke, aber diese Schatten verlieren sich nicht allmälig in einander, sondern schneiden sich scharf von einander ab. Nämlich es giebt da einen Raum, wohin gar kein Licht dringen kann, dann einen Raum, wohin nur von einem Lichte Strahlen dringen, dann einen Raum, wohin nur zwei Lichte leuchten u. s. w.

Wenn man den Schattenraum mit einer undurchsichtigen Ebene durchschneidet, wenn man ihn z. B. auf eine weiße Wand fallen läßt, so entsteht das Schattenbild, welches gewöhnlich nur Schatten genannt wird. Die Form des Schattenbildes richtet sich hauptsächlich nach der Beschaffenheit des Schatten gebenden Objektes, dann aber auch nach der Lage der Wand und nach der Anzahl der Lichte und ihrer Beschaffenheit. Ist z. B. der Schattenraum ein Kegel, so ist das Schattenbild ein Kreis, wenn die Axe des Kegels auf der Wand senkrecht steht, aber eine Ellipse, wenn diese Axe gegen die Wand schief gerichtet ist.

Bei mehreren Lichten wird man auch verschiedene Schatten bemerken. Zuerst kommen diejenigen, welche dem vollen Lichte am nächsten kommen; wo dann zwei solche Schatten in einander greifen, da ist ein dunklerer Schatten, wo deren drei in einander greifen, ist er noch dunkler u. s. w., bis dahin, wohin gar kein Licht mehr kommen kann.

§. 10. Höhenmessung durch Schatten.

Ein interessanter Gebrauch des Schattens besteht in der Messung von mancherlei Höhen, z. B. von Thürmen, Bäumen und dergleichen. Es sei z. B. C A (Ta-

fel I, Fig. 6) die Länge des Schattens eines Objektes A B auf ebenem horizontalen Boden, in demselben Augenblicke, wo man die Schattenlänge eines Stabes a b gleich c a gefunden hat. Da nun beide Schatten für dieselbe Zeit genommen sind, wo die Sonne gleiche Höhe über dem Horizonte hat, so sind in den rechtwinkligen Dreiecken CAB und cab die Winkel bei A und a, durch welche die Sonnenhöhen vorgestellt werden, einander gleich und daher beide Dreiecke ähnlich. Folglich findet man die unbekannte Höhe A B, wenn man schließt: wie sich verhält die Schattenlänge des Stabes zur Länge des Stabes, so verhält sich die Schattenlänge des Objektes zu seiner Höhe, $ac : cb = AC : CB$; folglich findet man CB durch Regel-de-tri. Man kann sich zu solchen Messungen eines Stabes von bestimmter Länge bedienen und denselben zugleich als Maßstab beim Messen der Schatten gebrauchen.

Indessen behalten alle Methoden des Schattenmessens wegen des Halbschattens eine ziemliche Unsicherheit. Da nämlich die Sonne SS' (Taf. I, Fig. 7) kein Punkt ist, sondern unter einem Winkel von etwa $\frac{1}{2}$ Grad erscheint, so bestimmt der vom obern Rande S kommende Strahl SBD das Ende eines Schattens bei D, der Strahl S'BD vom untern Rande gleichfalls das Ende eines Schattens bei E. Zwischen A und C liegt der volle Schatten, zwischen C und D der Halbschatten. Dieser mischt sich bei C mit dem vollen Schatten, bei D mit dem Lichte, so daß seine Grenze auf keiner Seite mit Bestimmtheit angegeben werden kann.

§. 11. Die Intensitätsmessungen des Lichtes. Photometer von Bunsen, Rumford und Wild.

Die Intensität des Lichtes nimmt im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der

Entfernung ab. Diese Wahrheit läßt sich leicht einsehen, wenn wir uns einen leuchtenden Punkt in der Mitte einer Hohlkugel von einem zweimal, dreimal, viermal u. s. w. so großen Halbmesser denken, deren Oberflächen das ausstrahlende Licht auffangen. Da sich aber die Oberflächen von Kugeln bekanntlich wie die Quadrate der Radien verhalten, so wird sich die Lichtmenge in demselben Verhältnisse über die Oberflächen verbreiten, also ihre Intensität viermal, neunmal, sechszehnmal u. s. w. schwächer werden müssen. — Hat der leuchtende Körper eine große Oberfläche, so läßt sich das besprochene Gesetz nicht mit aller Strenge practisch beweisen; sind jedoch kleine Lichtmengen vorhanden, so hat es Bunsen durch sein Photometer hinreichend klar dargelegt. Bunsen nimmt nämlich einen Papierschirm, der in der Mitte der kreisförmigen Fläche einen kleinen durch Wachs oder Stearin erzeugten Flecken hat und stellt ihn auf eine in bestimmte Theile getheilte Unterlage, auf der er verschiebbar sich hin- und herbewegen kann. Da nun der Flecken hell auf dunkelem Grunde erscheinen wird, wenn er stärker von hinten erleuchtet wird, (weil das Licht durch ihn hindurchgeht, während es von der Fläche reflectirt wird), dagegen dunkel auf hellerem Grunde, wenn er von vorne stärker beleuchtet wird, so wird man zwei Lichtquellen links und rechts vom Schirme so lange hin- und herschieben, bis der Flecken verschwindet. Dann sind die ausstrahlenden Lichtintensitäten gleich und man mißt ihren Abstand auf der getheilten Unterlage jederseits von dem Schirme. Die Intensitäten verhalten sich dann umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Weniger genau ist das Photometer von Rumford, das dasselbe Gesetz — durch den Vergleich der beiden Schatten, die durch zwei Lichtquellen, welche auf einen Stab geworfen werden, entsthend — beweisen will, indem durch Verschiebung der leuchtenten Objekte die Schatten gleich stark werden und die Intensitäten sich dann umgekehrt

wie die geraden Abstände von der Wand verhalten. Sehr complicirt und gleichzeitig auf die Gesetze der Polarisation sich beziehend ist das in der neuesten Zeit von H. Wild in Zürich construirte „Photometer und Polarimeter," das ausführlicher in den Schriften der naturforschenden Gesellschaft in Zurich's und in Poggendorff's Annalen besprochen ist.

Zweites Kapitel.

Von der Katoptrik oder der Reflexion des Lichtes.

a) Von den Gesetzen der Spiegelung und den Erscheinungen bei Spiegeln.

§. 12. Verschiedene Arten spiegelnder Oberflächen.

Unter Spiegel versteht man jede gerade oder krumme Fläche, welche hinlänglich geebnet, d. h. polirt ist, um das auffallende Licht so zurückzuwerfen, daß dadurch Bilder der Gegenstände im Auge erzeugt werden. Sofern also die Glätte der Oberfläche das Spiegeln bedingt, könnte die physikalische Beschaffenheit der Körper selbst als gleichgültig erscheinen, sie ist es aber nicht ganz, indem vielmehr ihre Dichtigkeit und Undurchsichtigkeit einen bedeutenden Einfluß üben. Die Glätte setzt voraus, daß möglichst viele Punkte in die nämliche Ebene fallen, und es können daher auch rauhe

Körper eine Spiegelung, wenn auch nur eine unvollkommene erzeugen, sobald die genannte Bedingung bei ihnen eintritt.

Alle flüssigen Körper bilden hinlänglich glatte Oberflächen, um einen Theil des auf sie fallenden Lichtes regelmäßig zurückzuwerfen und Bilder zu erzeugen, wie man diese Erfahrung an den Oberflächen stillstehender Gewässer täglich machen kann.

Selbst Nebel geben eine unvollkommene, Spiegelung wie man namentlich wahrnimmt, wenn man im Finstern bei dickem Nebel ein Licht in das geöffnete Fenster setzt oder hinaus hält, in welchem Falle man sein eignes Bild und das des Lichtes reflectirt sieht. Auch glatte Oberflächen durchsichtiger fester Körper spiegeln wie z. B. Glasscheiben, und zwar um so heller, je dunkler die Glasmasse ist, und besonders brauchbare Spiegel geben die schwarzen Glasmassen. Am besten eignen sich aber Metalle und vorzugsweise die härtesten, wenn ihre Oberflächen polirt werden, zu Spiegeln, weil bei ihnen unter allen vollkommenen undurchsichtigen Körpern die Politur am vollkommensten hergestellt werden kann. Der Stahl giebt mit die besten Spiegel, hat aber den Fehler des leichten Rostens, und da die edlen Metalle, als Gold, Silber und Platina nicht die erforderliche Härte haben, so nimmt man zu den Spiegeln der optischen Instrumente eigene Metallmischungen, die später beschrieben werden.

Aber freilich sind Metallspiegel zu kostbar für den gewöhnlichen Gebrauch und verlieren nur zu bald ihre Politur, wenn sie auch im Zustande der Neuheit ausnehmend schöne Bilder geben. Daher macht man aus ebenen Glasscheiben, deren Flächen parallel sind die Glasspiegel indem man an die eine Seite ein mit Quecksilber verbundenes Zinnblatt mittelst der Adhäsion befestigt. Hier ist die Oberfläche des Zinnblattes eigentlich der Spiegel und die Glasscheibe nur eine bequeme Fassung dafür. Solche Spiegel haben immer den Fehler der doppelten Bilder indem die Oberfläche der Glas-

scheibe und die Zinnfläche zugleich spiegeln, wenn gleich erstere nicht so stark, als die letztere. Ueberstreicht man die eine Glasfläche mit schwarzer Oelfarbe, so verschwindet das zweite Bild, welches von der Firnißfläche reflectirt wird, fast gänzlich; schleift man die eine Glasfläche matt, so giebt sie gar keine Spiegelung mehr und es bleibt nur noch das Bild sichtbar, welches von der glatten Glasfläche zurückgestrahlt wird.

Aber auch der vollkommenste Spiegel wirft bei weitem nicht so viel Licht zurück, als er empfängt, indem ein Theil des Lichtes in die Masse des Spiegels hineindringt und verschluckt, ein anderer Theil aber unregelmäßig zerstreut wird, wie man es sieht, wenn man in einem verfinsterten Zimmer einen Lichtstrahl auf einen Spiegel fallen läßt. Der Punkt, wo der Strahl auffällt, bleibt von allen Seiten her sichtbar, welches nicht sein könnte, wenn der Spiegel alle Strahlen nur nach einer Richtung hin reflectirte. Man rechnet, daß Metallspiegel beinahe die Hälfte der entfallenden Lichter verschlucken, wenn sie ganz vorzüglich polirt sind. Nach Rumford verschlucken auch die besten Glasspiegel 0,3494 gewöhnlich 0,4861 des auffallenden Lichtes.

§. 13. Gesetze der Spiegelung.

Die Gesetze der Spiegelung sind sehr einfach und vollständig in folgenden Sätzen enthalten.

Es sei AE (Taf. II, Fig. 1) ein Lichtstrahl, der bei E auf eine Spiegelfläche MN fällt. Zieht man nun durch den Einfallspunkt E eine gerade Linie BE senkrecht auf die Spiegelfläche, so heißt BE das Einfallsloth, der Winkel AEB, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe bildet, der Einfallswinkel und der Winkel BED, den der reflectirte Strahl mit eben dem Einfallslothe macht, der Reflectionswinkel. — Für diese Construktion gilt nun Folgendes:

1) Der einfallende Strahl und der zurückgeworfene liegen mit dem Einfallslothe in derselben Ebene.

2) Der Einfallswinkel A E B ist immer dem Reflektionswinkel B E D gleich.

Dieselben Gesetze gelten in der Mechanik, wenn ein elastischer Körper gegen einen harten stößt.

§. 14. Der ebene Spiegel.

Der gewöhnliche Spiegel und der am meisten gebräuchliche ist der ebene, dessen spiegelnde Oberfläche ganz eben ist, wie z. B. die Oberfläche eines stillstehenden Wassers, welche einen ebenen Spiegel vorstellt.

Die Wirkung eines ebenen Spiegels ist die, daß alle Objekte in ihm in ihrer natürlichen Größe abgespiegelt werden, und das Bild eben so weit hinter der Spiegelfläche liegt als das Objekt vor derselben.

Es sei E (Taf. II, Fig. 2) ein strahlender Punkt und ein Lichtstrahl E A falle senkrecht auf die Spiegelfläche, so wird er in sich selbst zurückgeworfen, da er mit dem Einfallslothe gar keinen Winkel macht. Ein anderer Strahl E B falle schief auf den Spiegel M N. Man ziehe das Einfallsloth C B, mache C B D = E B C, so ist D B der zurückgeworfene Strahl, welcher die Richtung hat, als käme er von dem Punkte X, wo die verlängerten Strahlen D B und E A hinter dem Spiegel sich schneiden. — Es ist nun, weil C B mit E X parallel ist, Winkel D B C = Winkel C B E = Winkel B E A, also haben die rechtwinkligen Dreiecke E A B und X A B gleiche Winkel, und da sie außerdem noch die Seite A B gemein haben, so sind sie congruent, d. h. E A = A X. Auf gleiche Weise werden alle von E kommenden Strahlen durch den Spiegel so reflektirt, daß sie aus dem Punkte X zu kommen scheinen, und es muß daher ein Auge, welches die reflektirten Strahlen aufnimmt, in X ein Bild des Punktes E erblicken.

Wenn nun der Gegenstand EH mit dem Spiegel MN parallel ist, so fällt das Bild des Punktes H in das auf dem Spiegel gefällte Perpendikel HF in dem Punkte y, welcher eben so weit vom Spiegel entfernt ist als HE oder X, und man begreift, daß Xy = EH sein werde. Jeder strahlende Punkt des Objectes entwirft sein eignes Bild im Spiegel, und die Gesammtheit aller dieser Bilder bringt ein Bild des ganzen Objectes hervor.

Ein ebener Spiegel, der aus einer mit Zinnfolie belegten Glasplatte besteht, macht, wie schon bemerkt, eigentlich zwei Bilder; denn einmal spiegelt die Fläche der Zinnfolie, welche den eigentlichen Spiegel ausmacht und das durch sie hervorgebrachte Bild ist das lebhafteste; daneben aber spiegelt auch noch die Vorderfläche des Glases und bewirkt ein zweites Bild, welches freilich dem ersteren an Lebhaftigkeit weit nachsteht, da es nur durch die wenigen Strahlen entsteht, die das Glas nicht durchläßt, sondern gleich an der Vorderfläche wieder zurückwirft. — Der Abstand beider Bilder ist der doppelten Dicke des Glases gleich. Denn es sei ba die Vorderfläche, BA die Hinterfläche (Taf. II, Fig. 3), so wird der Punkt C in der durch den Spiegel senkrecht gehenden Linie CL von der Vorderfläche in i, von der Hinterfläche in I abgespiegelt. Es ist dann $ai = aC$, $AI = AC$ folglich $iI = aI - ai = (AI + aA) - ai = (CA + aA) - Ca = (CA + aA) - (CA - aA) = 2\,Aa$.

Steht man nicht sehr zur Seite des Perpendikels CA, welches vom Objecte auf den Spiegel fällt, so scheinen sich beide Bilder zu decken und sie werden demnach als ein einziges gesehen; wenn man sich aber von jenem Perpendikel entfernt, so kommen beide Bilder zum Vorschein und rücken um so weiter von einander, je schiefer man gegen den Spiegel steht, wenn sich z. B. das Auge in O befindet.

Außer diesen zwei Bildern sieht man gewöhnlich noch mehrere, welche aus folgender Ursache entstehen.

Wenn die Strahlen, welche von der Hinterfläche des Spiegels kommen, wieder an die Vorderfläche gelangen, so gehen sie nicht alle durch, sondern werden theilweise wieder auf die Hinterfläche zurückgewiesen, von dieser aber wieder reflectirt, so daß ein neues Bild in k erzeugt wird. Auch von diesem Theile der Strahlen werden wiederum einige von der Vorderfläche auf die Hinterfläche reflectirt, und es entsteht ein viertes Bild in L. So sieht man von einer in C stehenden Flamme wenn sich das Auge in O befindet eine Reihe Bilder i, I, k, L, worunter das zweite das lebhafteste ist. Die folgenden werden der Reihe nach immer schwächer, bis sie sich endlich ganz verlieren.

§. 15. Versuche mit einem ebenen Spiegel.

Mittelst der Planspiegel läßt sich Folgendes einsehen:

1) Man sieht im ebenen Spiegel die Dinge gerade so, als wenn man sie unmittelbar betrachtete, nur mit der scheinbaren Verwechselung der rechten und linken Seite.

2) Neigt man einen ebenen Spiegel gegen eine Horizontalebene unter einem Winkel von 45°, so scheint das, was auf diesem horizontalen Boden liegt, im Spiegel aufrecht zu stehen.

Es sei der Spiegel MN (Taf. II, Fig. 4) gegen die Horizontalebene unter 45° geneigt. Das Bild des Punktes A erhält man, wenn man das Perpendikel AP fällt, Pa = aP macht; in M aber fallen Bild und Object zusammen, daher ist Ma das Bild der Linie MA. Die rechtwinkligen Dreiecke MPA und MPa sind congruent und folglich Winkel aMP = AMP = 45°, folglich aMA = 90° d. h. es steht Ma aufrecht während Ma liegt

Umgekehrt scheinen in solchen Spiegeln stehende Dinge zu liegen, fallende horizontal zu laufen u. s. w.

3) Liegt ein Spiegel wagerecht, so scheinen aufrechtstehende Gegenstände zu hängen, hängende aufrecht zu stehen. — In einem an der Decke wagerecht angebrachten Spiegel scheinen die auf dem Boden befindlichen Gegenstände über der Decke in verkehrter Stellung zu schweben folglich scheint hier eine fallende Kugel zu steigen u. dergl.

4) Um sich selbst ganz in einem Spiegel zu übersehen, muß dieser wenigstens die halbe Höhe und Breite des Menschen haben. Es sei in A das Auge, in B der Fuß, CD der Spiegel parallel mit AB. Das Bild ab ist gerade so groß, als ab, auch ab mit AB und CD parallel und daher, weil AC = aC, also AC = $\frac{1}{2}$ aA, auch CD — $\frac{1}{2}$ ab = $\frac{1}{2}$ AB. Es ist aber BD die kleinste Höhe, die der Spiegel haben muß, damit Strahlen von A und B zugleich nach dem Auge kommen können. Eben so verhält es sich mit der Breite (Taf. II, Fig. 5).

5) Mittelst des ebenen Spiegels lassen sich auch senkrecht Höhen messen, die auf horizontalem Boden stehen und zu deren Fußpunkte man kommen kann. Es sei AB (Taf. I, Fig. 8) eine solche Höhe und MN ein ebener Spiegel, horizontal gelegt. Man trete so weit vom Spiegel zurück, bis man in ihm die Spitze B bei b sieht. Steht dann das Auge in O, so sind wegen der Gleichheit der Winkel FbO und AbB die Dreiecke ähnlich und es verhält sich die Entfernung bF des Fußes von dem Punkte b im Spiegel, wo man B sieht, zur Augenhöhe FO wie die Entfernung bA zur Höhe AB. Die drei ersten Linien dieser Proportion kann man aber messen und folglich auch die vierte nämlich die Höhe AB durch Regel-de-tri finden.

6) Wenn PS eine gegen den Horizont unter einem Winkel m geneigte Ebene ist (Taf. II, Fig. 6) so kann man Spiegel CD so stellen, daß eine auf der schiefen Seite herabrollende Kugel im Spiegel senkrecht in die Höhe zu steigen scheint. Die Richtung des Spiegels CD muß dann den Winkel PSN, den die schiefe Fläche mit der Vertikalebene ON macht, halbiren, weil dann

z. B. das Bild b von B eben so weit vom Spiegel absteht, als B selbst.

Ist nun der Neigungswinkel der schiefen Ebene gegen den Horizont = m, so ist PSN = SOP + m = 90 + m, also PSM = 45° + ½ m. Ist z. B. m = 30° so ist PSM = 45° + 15° = 60° d. h. der Spiegel muß mit der Scheitellinie einen Winkel von 60° also mit der Horizontale einen Winkel von 30° machen. Ist nun die Kugel in A, B u. s. w. so erscheint sie im Spiegel in a, b u. s. w. und scheint also zu steigen. Kann man nun dem Auge die Fläche mit der Kugel, und den Spiegel selbst (von dem nur ein Stück wie CD da sein darf) geschickt verbergen, so daß der Zuschauer ins Freie zu sehen glaubt, so lassen sich die Täuschungen dieser Art sehr weit treiben.

§. 16. Das Goniometer.

Auf die Gesetze der Spiegelung, die hier ausführlich erörtert, gegründet, ist das von Wollaston construirte Goniometer (Winkelmesser). Wir übergehen indeß hier das Instrument, da der practische Glaskünstler nicht in die Verlegenheit kommen wird zur Construction aufgefordert zu werden, indem es mehr Sache des Mechanikers ist genau getheilte Kreise dabei zu liefern. Indeß sei hier das Goniometer von Gambey erwähnt. Dieses Instrument zeigt, wie man auf leichte Weise etwa den Winkel messen kann, den zwei Flächen mit einander bilden z. B. die Winkel eines Glasprisma's. Man bringt das Prisma genau in die Mitte eines sauber getheilten Kreises, womöglich mit Nonius, um ganz genaue Messungen anzustellen. Man reflectirt nun das Spiegelbild einer entfernten Marke durch die Prismenfläche in das Fadenkreuz eines genau horizontal hingestellten Fernrohres, dreht dann das Prisma so lange bis dieselbe Marke von der zweiten Fläche genau an demselben Punkte reflectirt wird und liest dann die

Drehung, d. h. den Flächenwinkel an dem getheilten Kreise ab. —

§. 17. Der Spiegelsextant.

Auch der Spiegelsextant, eines der wichtigsten Winkelmeßinstrumente, zeigt uns eine ungemein sinnreiche Anwendung der Spiegelungsgesetze. Der Sextant ist Fig. 3, Taf. III abgebildet. Man wendet ihn folgendermaßen an: Indem man an den Handgriff h faßt, sieht man durch die Oeffnung O, welche sich in einem massiven Messingstücke befindet, durch den Spiegel A, und zwar durch den obern Theil desselben, der frei von Spiegelfolien ist, nach dem zu visirenden Gegenstande, etwa dem Thurmknopfe einer Kirche. Gleichzeitig sucht man durch den ebenen mit Folie belegten Spiegel B etwa den Thurmknopf einer zweiten Kirche auf und dreht den beweglichen Arm C D, mit dem auch der Spiegel B beweglich, so lange, bis das Bild durch B reflectirt in den untern spiegelnden Theil des Spiegels A und zwar genau unter das erste Bild gelangt. Jetzt schraubt man in n den Arm CD an und liest an dem genau getheilten Kreise (der gewöhnlich etwas größer als der sechste Theil eines Kreises ist) den Winkel, um welchen der Spiegel B gedreht ist, ab, um somit den Abstand der erwähnten Gegenstände in Bogen-Minuten und Sekunden zu erhalten. Bogen-Grade (scheinbare) treten wohl nur bei der Distanzbestimmung von Gestirnen auf, die man eben so, wie vorhin erwähnt, oder durch einen künstlichen Horizont (Quecksilber u. s. w.) visirt. Um genauere Messungen zu unternehmen, ist bei C ein Nonius angebracht und wird die Theilung so eingerichtet, daß der Nonius auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, wenn beide Spiegel parallel sind. Die Theilung ist ferner so eingerichtet, daß jeder halbe Grad für einen ganzen gezählt wird, und man somit den Distanz-Winkel abliest. Wir werden nämlich gleich zeigen, —

nachdem wir darauf vor Allem aufmerksam gemacht, daß die Spiegel genau eben zu schleifen und nach dem bald folgenden Verfahren von Oertling zu prüfen sind, damit nicht grobe Beobachtungsfehler entstehen —, daß der beobachtete Winkel jedesmal mit 2 zu multipliciren ist, um den wahren Abstand zu haben.

§. 18. Theorie des Spiegelsextanten.

Ist A (Fig. 4, Taf. III) der Spiegel, an dessen oberer Hälfte die Belegung fehlt, und B der zweite mit der Belegung versehene Spiegel, der um eine Axe drehbar ist, die rechtwinklig auf der Ebene der Figur steht, so kann man, wie schon vorher erwähnt, dem Spiegel B eine solche Stellung geben, daß ein, etwa von e herkommender Strahl eB, der neben dem Spiegel A geht, (auf den das Auge im Strahle oA gerichtet), durch den Spiegel B nach A und von dort nach o wiederum reflectirt wird. Auf diese Weise wird das Auge in o durch den obern Theil des Spiegels A den Gegenstand direkt, und durch Reflection des Spiegels B im untern Theile von A das Spiegelbild desselben Gegenstandes sehen. Dreht man nun den Spiegel B, so wird von einem anderen Objecte ein Strahl, etwa fB, auf ihn fallen. Die Theorie der Messung mit dem Sextanten beruht nun darauf, daß der Winkel, um welchen man den Spiegel B aus seiner Anfangsstellung drehen muß, um im untern Theile des Spiegels A das Bild des Gegenstandes f zu sehen, während man durch die obere Hälfte noch immer e erblickt, halb so groß ist, als die Visirlinien Be und Bf. — Zieht man, um das eben ausgesprochene zu beweisen, die Einfallslothe Bg, und als B gedreht wurde, Bh auf den Spiegel, so wird der Winkel ABh = Winkel hBf = y sein (nach dem bekannten Reflexionsgesetze). Eben so ist der Winkel eBg = gBA = x und somit ist auch einzusehen, daß

Winkel eBf = 2y — 2x
Winkel gBh = y — x

folglich ist der letztere Winkel, d. h. der Winkel, den die beiden Einfallslothe auf den Spiegel mit einander bilden, den also die beiden Stellungen der Spiegel mit einander machen und den wir am Kreisbogen ablesen, halb so groß, als der, den die beiden Objecte e und f mit einander bilden. Es sei hier nun noch erwähnt, daß man nicht nur den sechsten Theil eines Kreises zur Messung der Entfernung zweier Objecte, sondern auch den achten Theil der Kreiseintheilung wählt, und auf diese Weise bei der gleichen Construction einen Spiegeloctanten oder wie man ihn allgemein nennt, einen Octanten erhält. Zur Beobachtung der Polhöhen und ähnlicher, namentlich zu seemännischen Zwecken dienenden Observationen, setzt man noch an o ein kleines, aber gutes Fernrohr an. —

§. 19. Der Heliostat.

Wir können die ebenen Spiegel nicht verlassen, ohne noch eines wichtigen Instrumentes, des Heliostaten, Erwähnung zu thun, der noch immer, namentlich auch in der letzten Zeit von Helmholtz u. s. w. zu physiologischen Untersuchungen angewendet wird.

Aus einer größern Zahl dieser Instrumente heben wir zunächst eines hervor, das von anerkannten Physikern seiner ausgezeichneten Construction wegen stets rühmlichst erwähnt wird. Es ist der Heliostat Silbermann's. Er besteht aus einer Uhr H (Fig. 4 und 7, Taf. IV), deren Axe QQ' und deren Zifferblatt CC', wie gewöhnlich eingestellt werden können. Zu dem Ende ruht sie auf einer horizontalen Axe YY', winkelrecht auf dem Meridian CC. Diese Axe geht durch den Mittelpunkt Y eines getheilten Quadranten LL', welcher dazu dient, die Uhr nach der Breite des Ortes zu neigen, d. h. die Axe des Zeigers HH' parallel der Erdaxe zu stellen.

Die Verlängerung der Axe des Zeigers trägt zwei concentrische Kreisbogen I′ I″ I‴ und R′R″R‴, beweglich um ihren gemeinschaftlichen Durchmesser, der mit der Axe HH′ des Zeigers zusammenfällt. Der eine dieser Bogen, I′I″I‴, irgendwo an der materiellen Zeigeraxe befestigt, enthält die Sonne I in seiner Ebene.

Die veränderliche Größe dieser Bogen hängt von der des Polarwinkels ab, zunächst für den einen R′ R″ von demjenigen, welchen der reflectirte Strahl R O R′ mit der Zeigeraxe H H′ macht, und für den andern I I′ von dem, welchen der einfallende Strahl I O I′ mit derselben Axe H H, bildet. Dieser, nach der Declination der Sonne an Größe verschiedene Bogen, ist an einer Seite in Grade getheilt, die nach I′ hin die nördlichen, und nach I‴ die südliche Declinationen der Sonne angeben. Man findet diese Winkel in den astronomischen Ephemeriden für jeden Tag des Jahres angegeben. An der anderen Seite desselben Bogens ist eine Eintheilung von 5 zu 5 Tagen mit Angabe der mittleren Declination für den Tag oder der für das Jahr bei gleichen Abstand von zwei Schaltjahren.

S. hatte die Declinationen von 1842 als Mittel genommen. Die Theilung entspricht den 1., 5., 10., 15., 20. und 25. jeden Monats, angezeigt durch dessen Anfangsbuchstaben und die vorstehenden Datums. Diese Theilung dient nur zur ungefähren Angabe für Versuche ohne Genauigkeit und von kurzer Dauer, wie man sie in Vorlesungen macht. Man braucht nur, um die Größe des Bogens I′ I″ zu bestimmen, den Kreis in seinem Schlitten zu verschieben, bis die Declination oder das Datum des Tages mit der Ablese oder dem Nonius zusammen fällt. Wir werden sehen, daß man sich selbst dieser beiden Theilungen überheben kann und vielleicht mit Vortheil. Jeder wird dasjenige der drei Mittel wählen, welches ihm am besten zusagt.

Der Bogen R′R″R‴, welcher die Reflexion in seiner Ebene enthalten soll, bedarf keiner Theilung; man dreht ihn um seine Axe QQ′ und verschiebt ihn in seinem

Schlitten, je nach der dem reflectirten Strahl zu gebenden Richtung; mittelst seiner beiden Bewegungen, der Verschiebung und der Drehung, richtet man das Bild direct auf den verlangten Ort.

Alsdann werden die beiden Kreisbogen in solcher Lage sein, daß, wenn man vom freien Ende I′ des Declinationskreises eine gerade Linie zu ihrem gemeinschaftlichen Mittelpunkte O führt, d. h. einen Strahl I′O zieht, dieser Strahl verlängert I′OI beständig durch die Sonne geht, weil die Uhr diesen Bogen in Richtung der Bewegung der Sonne in 24 Stunden einen Umgang machen läßt, und zweitens, weil die Linie, welche eben so durch das Ende R′ und den gemeinsamen Mittelpunkt O gezogen wird, durch den Punkt R geht, wo sich das reflectirte Sonnenbild befindet.

Wir haben also zwei unterschiedene Strahlen, den einen O I′, der beständig in der Verlängerung des einfallenden Strahls I O I′ ist und durch das Centrum O geht, und den andern O R′, der in der Verlängerung des reflectirten Strahles R O R′ liegt, und ebenfalls durch das gemeinsame Centrum O beider Bogen geht. In diesem gemeinsamen Centrum treffen sich der einfallende Strahl, der reflectirte Strahl und die Axe des Zeigers; auch ist es zugleich die Mitte der Figur des Spiegels M.

Um einzusehen, wie der Spiegel mit diesen beiden Strahlen verknüpft ist, wollen wir zuvörderst diese beiden Strahlen oder gerade Linien I O I′, R O R′ betrachten (Fig. 5, Taf. IV).

Zwei sich schneidende Linien liegen immer in einer Ebene; dieß liegt in der geometrischen Definition einer Ebene. Da ferner die beiden Richtungen I I′, R R′ respective die des einfallenden und des reflectirten Strahles sind und in dieser Ebene liegen, so wird dieselbe immer diejenige sein, in welcher die Incidenz und die Reflexion geschehen.

Zieht man nun in dieser Ebene eine gerade Linie, die den Winkel zwischen dem einfallenden und dem reflectirten Strahl halbirt, so haben wir die Normale auf dem reflectirenden Spiegel (Fig. 6, Taf. IV).

Dieß gesetzt, bezeichne man in gleichem Abstande vom Durchschnittspunkte O dieser Linien zwei Punkte d und d', einen auf dem einfallenden Strahl, den andern auf dem reflectirten, oder auch auf deren Verlängerung d'' d''' oder selbst seitwärts d d''', d d'', und ziehe durch jeden Punkt eine dem anderen Strahl parallele Linie; dann hat man zwei Linien, die ein Parallelogramm O d D d oder O d'' D' d''' oder O d' M' d''' oder O d M d'' abschließen. Zieht man nun durch den Durchschnittspunkt dieser beiden Linien n, n', M oder M', die Diagonale des Parallelogramms, so halbirt sie den von diesen beiden Strahlen gebildeten Winkel; sie wird also die Normale der reflectirenden Fläche, oder diese Fläche selber sein. Es ist gleich, welchen Winkel unsere beiden Richtungen mit einander machen: immer wird das Parallelogramm gebildet, und immer wird die eine seiner Diagonalen jenen Winkel halbiren, d. h. immer wird der Spiegel M M' so gestellt sein, daß er den Reflexionserscheinungen, die in der Ebene dieses Parallelogrammes vorgehen, genügt.

Diese Bedingung des Parallelogrammes ist in dem Instrumente angewandt, nur ziehe man vor, statt das Parallelogramm auf besagte Weise zu vollenden, zwei gleiche Seiten länger als die des Parallelogrammes zu nehmen, was indeß an der Richtung der Normale gegen die beiden Strahlen nichts ändert und die Ausführung jener Bedingung erleichtert.

Es ist sehr leicht, diese geometrische Bedingung durch einen Mechanismus zu bewerkstelligen. Allein da der Mittelpunkt des Spiegels auch diesen gemeinsamen Mittelpunkt einnehmen muß, so hat man ein Stück des Strahles zu spalten (bifurquer), um den Spiegel zwischen zwei Gabeln mit einem Scharniere zu halten, dessen Axe immer auf jeden der beiden Strahlen winkelrecht ist, und auch durch das gemeinsame Centrum O geht.

Nach dieser gewissermaßen geometrischen Auseinandersetzung des Apparates wollen wir den Mechanismus desselben näher beschreiben.

§. 20. Nähere Beschreibung des Heliostaten.

Die Bestandtheile des Heliostaten sind:

1) Ein horizontaler Dreifuß VV'V'', versehen mit Stellschrauben v v' v''. In seiner Mitte dreht sich eine horizontale Scheibe A A, auf welcher eine Libelle a' a'' und zwei Ständer PP', die die Uhr H und den Spiegel tragen. Diese Scheibe kann in ein beliebiges Azimuth gestellt, und darin mittelst der auf einem Zweig des Dreifußes befindlichen Klemmschraube befestigt werden. Mittelst der Drehung dieser Scheibe und der darauf befindlichen Libelle stellt man das Instrument vollkommen horizontal.

2) Die Uhr ist aufgehängt und zwischen den senkrechten Stützen PP' drehbar um ihre der unteren horizontalen Scheibe immer parallelen Axe YY'. Der Kreisbogen L L' dient zur Festhaltung der Uhr, und ist in Grade getheilt, deren Nullpunkt in L, auf dem dem Zifferblatt parallelen Radius liegt, so daß der Punkt 90° sich auf dem Radius befindet, welcher der Axe der Uhr, oder der Axe der den Spiegel tragenden Säule parallel ist. An dem Fuße P befindet sich die Ablese und ein Nonius. Dieser Kreisbogen und Nonius dienen dazu, mittelst des Breitengrades des Beobachtungsortes das Zifferblatt der Uhr dem Aequator parallel zu stellen. Eine Klemmschraube l dient zur Festhaltung dieses Bogens, der an der Uhr sitzt.

Die Uhr schlägt Viertelsekunden. An ihrer unteren Grundfläche bewegen sich zwei Zeiger; der eine macht seinen Umgang in einer Stunde, der andere in 300 Sekunden oder 5 Minuten; auch befindet sich hier die Axe der Feder. Der Zeiger zum Vor- oder Rückstellen ist an der oberen Grundfläche.

3) Die obere Grundfläche der Uhr trägt, wohl befestigt, eine hohle Säule Q Q', und oben auf dieser ein in 24 Stunden getheiltes Zifferblatt, dessen Ebene der unteren Grundfläche der Uhr parallel ist, und auf wel-

cher die Diametrallinie von 6 bis 18, die Stunden 6^h Morgens und 6^h Abends angebend, genau der Horizontalaxe YY′ parallel ist.

4) Im Innern der hohlen Säule findet sich eine Axe, die durch ihre Verbindung mit dem Uhrwerk einen Umgang in 24 Stunden macht. Auf dieser Axe und oberhalb des Zifferblattes dreht sich frei oder mit der Axe, je nachdem die Klemme gelöst oder durch ihre Schraube I″ angezogen worden, eine kubische Büchse I″. An dieser Büchse sitzt zuvörderst der Zeiger oder Nonius c, der die Stunde angiebt, und dann der Declinationskreis I′I″I‴, welcher durch die Theilung an einer Seite die mittlere Declination von 5 zu 5 Tagen angiebt. S. hat die von 1842 angenommen. An seiner andern Seite findet sich die Gradtheilung, rechts und links vom Nullpunkte des Nonius auslaufend. Die Correspondenz des Nullpunktes des Nonius und der Theilung ist von der Lage ausgenommen, wo die Axe I′ der von ihm getragenen Gabel vollkommen der Grundfläche der Uhr parallel ist.

5) Um die an der Uhr befestigte Axe oder Säule bewegt sich eine Hülse Q Q′, die unten bei Q′ einen Kreis trägt, mittelst dessen und einer Klemmschraube r′ die Hülse in einer bestimmten Stellung festgehalten werden kann. Am oberen Theil und unter dem Zifferblatt ist ein Kubus R″ befestigt, der als Büchse für einen starken Kreisbogen R′R″R‴ dient, welcher in Richtung des reflectirten Strahles, den andern Stiel R′ des Spiegels trägt. Dieser Kreisbogen kann in der Büchse R″ verschoben oder darin mittelst einer Druckschraube r festgehalten werden. Durch diese beiden Bewegungen kann der reflectirte Strahl nach allen Punkten der Kugelfläche gesandt werden, deren Mittelpunkt mit dem des Spiegels zusammenfällt.

6) Endlich zwei Gabeln S′I′S und SR′S′ verbunden durch ein Scharnier, nach einer Richtung SS′, welche im Niveau der Spiegelfläche, durch das Centrum derselben geht und in diesem Punkte sowohl die Axe der

Stiele I′O, R′O beider Gabeln, auf welchen sie immer winkelrecht ist, als auch die Drehaxe H H′ des Uhrzeigers schneidet.

Der Spiegel M dreht sich um die Axe S S′ des Scharniers der Gabeln, wo er seitwärts befestigt ist an einem starken Stabe, welcher eine Fuge N S senkrecht auf der Spiegelfläche enthält. In dieser Fuge gleitet genau passend ein Stift D, welcher zugleich als Scharnier für zwei schiefe gleich lange Leisten d D, d′D dient, die ebenfalls an dem Scharniere S S′ der Gabeln, in vollkommen gleichem Abstand von dessen Axe, befestigt sind, um das zuvor beschriebene Parallelogramm zu bilden.

Endlich sitzt an einer Seite I S der Einfallsgabel S′I′S ein kleines Fernrohr oder ein Sucher T T′, dessen optische Axe parallel ist der Drehaxe ihres Stieles I′ oder des einfallenden Strahles. Während des Versuchs ist das Fernrohr immer auf die Sonne gerichtet. Die feste Gabel, d. h. die Reflexionsgabel S R′ S′ hat keinen Visirer; als solcher dient das Sonnenbild selbst, das auf den verlangten Punkt gerichtet wird; dieses Bild ist immer in der Ebene des Kreises R′ R‴.

Gebrauch des Heliostaten.

Zuvörderst zieht man die Uhr auf und setzt sie dadurch in Gang, daß man sie in horizontaler Ebene rasch hin- und herdreht, wie man es zu gleichem Zweck, mit den Chronometern und Schiffsuhren, und zuweilen mit den gewöhnlichen Uhren zu thun genöthigt ist. Zur Regulirung des Ganges dient der Zeiger auf dem kleinen Zifferblatt; er wird gegen A gerückt, wenn sie zurückbleibt, gegen R, wenn sie vorausläuft.

Wagrechtstellung (Calage). Man löst zuvörderst, um die Uhr und die den Spiegel tragende Säule senkrecht zu stellen, die Klemmschraube l, welche den Breiten-Quadranten L L′ hält, dann zieht man die Schraube l wieder an; nun ist das Instrument leichter wagerecht gestellt.

Man stellt das Niveau seiner Länge parallel der Graden, welche zwei der Stellschrauben, z. B. V' und V' verbindet, indem man die horizontale Scheibe A A' löst, zweckmäßig dreht und mittelst der Klemmschraube a wieder feststellt. Um das Wagerichten zu erleichtern, ist die Scheibe durch zwei unter sich winkelrechte Durchmesser in vier gleiche Theile getheilt. Man läßt das eine Ende des auf dem Niveau winkelrechten Durchmessers zusammenfallen mit dem Strich, der auf der Klemme der Druckschraube gemacht ist. Man schraubt alsdann die eine oder die andere der Stellschrauben auf oder ab, bis die Luftblase sehr genau die Mitte des Niveaus einnimmt. Hierauf dreht man die Scheibe um einen Quadranten; dadurch kommt das Niveau in winkelrechte Lage gegen die frühere oder in die Richtung der dritten Stellschraube V; je nach der Lage der Luftblase dreht man nun diese Schraube vor- oder rückwärts, bis die Blase wieder in der Mitte der Theilung steht. Man thut wohl, dieselben Operationen sogleich mit einer Drehung des Niveaus um 180° Grad gegen seine früheren Lagen zu wiederholen, um sich zu versichern, ob das Niveau parallel mit der Scheibe sei. Fände es sich, daß die Luftblase, nach dem Drehen des Niveaus um 180°, nicht auf denselben Punkt zurückkäme, es also falsch gestellt wäre, so müßte man den Unterschied halbiren, indem man die Schraube, die emporzuschrauben wäre, bloß um die Hälfte des vom Niveau angegebenen Unterschieds in die Höhe schraubte; die andere Hälfte des Fehlers würde berichtigt durch die drei Schrauben, welche das eine Ende des Niveaus halten, und von denen die eine gegen die Scheibe zieht, die beiden seitlichen aber stemmen.

Einstellung in die Breite des Ortes. — Nachdem der Fuß wohl horizontal gestellt worden, dreht man diejenige Seite des Apparats, welche den an der Uhr befestigten Quadranten trägt nach Westen, und bringt den Nonius, der an dem einen Ständer der Uhr sitzt, in Coincidenz mit dem Breitengrade des Beobachtungs-

orts. Das Instrument erhält dann eine Neigung im Sinne der in der Fig. 7, Taf. IV. Die Axe der Uhr würde der Erdaxe parallel sein, wenn die Ebene der Neigung in dem Meridian des Ortes läge. Diese durchaus nothwendige Stellung erhält man sehr leicht auf folgende Weise.

Einstellung in den Meridian. Zu dem Ende löst man die Klemmschraube, um den oberen Bogen so drehen zu können, daß der Strich auf den Zeiger in die Stunde der Sonnenuhr kommt, d. h. in die wahre Stunde des Moments der Einstellung. Da die Uhr aufgezogen ist und geht, so schraubt man den Knopf, welcher die Büchse dieses Kreises an die Axe der Uhr hält, wohl fest, und läßt den Kreis von dieser drehen. Man schraubt den Knopf des getheilten Kreises los und verschiebt den Kreis, bis der Index den Tag der Beobachtung an der einen oder andern Theilung angiebt:

1) nämlich mittelst der Grade, die Zahl, welche die astronomischen Ephemeriden für den Tag der Beobachtung nachweisen. Wenn diese Declination nördlich ist, wie im Sommer, so gebraucht man die der Gabelaxe näher liegende Theilung; ist dagegen Winter oder die Declination südlich, so bedient man sich der Theilung am andern Ende des Bogens. Alsdann, da der Zeiger auf der Stunde und der Bogen in der Declination steht, hat man nur noch das Fernrohr gehörig auszuziehen, auf die Sonne zu richten, indem man das ganze Instrument mit dem horizontalen Kreise dreht, ohne die Stellschrauben zu rücken, und den Kreis feststellt.

Das Instrument ist nun orientirt gegen den Meridian des Orts, und überdieß ist auch der einfallende Strahl gerichtet, weil der in der Axe des Fernrohres diesem Strahle parallel ist.

2) Hat man nicht die wahre Deklination, so sucht man auf der Tagestheilung das Datum des Beobachtungstages auf und bringt es unter den Ablesestrich. Da die Tage nur von fünf zu fünf angegeben sind, so

theilt man mit dem Auge den Zwischenraum in fünf Theile, und da, vom 25. bis zum 28., 29., 30. oder 31., je nach dem Monate 4, 5, 6 oder 7 Tage bis zum ersten des folgenden sind, so nimmt man darauf Rücksicht. Dann ist das Instrument wie zuvor orientirt.

Wüßte man endlich weder die Declination noch das Datum des Tages, jedoch die wahre Stunde, so müßte sich, bei jeglicher Declination, die Sonne an der Ebene dieses Bogens befinden; man visirt daher auf sie, indem man gleichzeitig den Bogen und die horizontale Scheibe dreht, und wenn nun das Fernrohr auf die Sonne gerichtet ist, wird das Instrument orientirt sein. Dieses sehr einfache Mittel ist vielleicht das richtigste.

Man könnte sogar das Instrument einstellen, indem man den Schatten des Endes R‴ auf diesen Bogen selber fallen ließe. Ein einziger Strich diente dann für immer zur Coincidenz.

Reflexion des Sonnenbildes. — Um den einfallenden Strahl auf die Wand zu werfen, löst man die beiden Klemmschrauben, welche die Hülse und den Reflexionskreisbogen halten, und richtet die Axe der Gabel auf den Punkt, auf welchem man den reflectirten Strahl haben will, indem man den Reflexionsbogen erstlich um seine Hülse oder Axe dreht, und zweitens mehr oder weniger in seiner Büchse verschiebt. Ist das Bild einmal auf den gewünschten Punkt reflectirt, so zieht man die an der Basis der Uhr befindliche Klemmschraube an und darauf die des Bogens. Dann ist der reflectirte Strahl gerichtet, und bleibt in dieser Richtung, da sie sich in der Ebene des Kreises befindet.

§. 21. Der Heliostat von L. A. Grüel.

Einfacher, da schon das ziemlich complicirte Uhrwerk fehlt, und, wie wir sehen werden, eine einfache Uhr hinreicht das Instrument in Bewegung zu setzen, ist der Heliostat von C. A. Grüel in Berlin construirt,

dessen Construction wir nun im Folgenden so genau als möglich folgen lassen:

Die Aufgabe, welche bei dem neuen Instrumente zu lösen ist, besteht darin: eine Axe, welche dem metallenen Planspiegel trägt, dessen Ebene parallel dieser Axe sein muß, zuerst genau in die Richtung der Weltaxe einstellen zu können, so, daß der Winkel, den sie mit dem Horizonte bildet, allemal gleich sei der Polhöhe des Beobachtungsortes; ferner dieser Axe durch ein Uhrwerk solche gleichmäßige und drehende Bewegung zu ertheilen, bei welcher sie innerhalb 24 Stunden gerade eine halbe Umdrehung im Sinne der täglichen scheinbaren Bewegung der Sonne vollendet. Wenn nach geschehener Orientirung des Heliostats das Uhrwerk den Spiegel bewegt, und dieser gleich Anfangs so gestellt wurde, daß der von ihm zurückgeworfene Sonnenstrahl eine für den beabsichtigten Versuch bequeme Richtung erhielt, so bleibt fortan diese Richtung, der weiterrückenden Sonne ungeachtet, unverändert dieselbe; ein Erfolg, welcher nothwendig eintreten muß und leicht erklärlich wird, wenn man sich des Verhältnisses erinnert, in welchem ein reflectirter Strahl fortschreitet, wenn in einem Falle der Spiegel ruht, der ihn treffende Strahl aber seine Richtung ändert; in einem andern Falle aber der Spiegel sich dreht, und der ihn treffende Lichtstrahl unverändert bleibt. — Angenommen, hier und dort geschehen die beiden Bewegungen mit gleicher Winkelgeschwindigkeit, so rückt in dem zuletzt bemerkten Falle der reflectirte Strahl doppelt so rasch weiter als im ersteren.

Vermöge der täglichen Bewegung der Sonne würde der reflectirte Strahl, wenn der Spiegel ruhte, innerhalb einer Stunde 15° nach einer dem Sonnenlaufe entgegengesetzter Richtung zurücklegen. Durch die drehende Bewegung des Spiegels aber, welche in einer Stunde $7\frac{1}{2}°$ beträgt, wird er in dieser Zeit um 15° nach einer mit dem Sonnenlaufe übereinstimmenden Richtung bewegt. Da nun einerseits die Sonne, andererseits der Gang des Instrumentes, beide Bewegungen mithin deren

entgegengesetzte Erfolge gleichzeitig hervorbringt, so muß für den reflectirten Sonnenstrahl der absolute Stillstand resultiren.

Es ist unnöthig, auf die Aenderung der Declination der Sonne Rücksicht zu nehmen, weil die daraus entspringende Ungenauigkeit in der kurzen Zeit des Versuchs zu unbedeutend ist. Die einzige Beschränkung, welche bei Anwendung dieses Apparats fühlbar werden könnte, liegt darin, daß er den Lichtstrahl nicht, wie die älteren, viel zusammengesetzteren Heliostaten nach jeder beliebigen Richtung zu lenken gestattet, indem die dem Experimentator zur Verfügung stehenden Strahlen ausschließlich in der Oberfläche eines Kegels liegen, dessen Spitze der Spiegel bildet, und dessen Basis durch die eben statthabende Declination der Sonne bestimmt ist. Dieser Umstand ist jedoch meistens nicht störend, da von den vielen in jeder Kegelhülle liegenden Strahlen durch Stellung des Spiegels derjenige ausgewählt werden kann, welcher sich den Localitätsverhältnissen und dem Versuche am besten anpaßt. Uebrigens würde durch Hinzufügung eines zweiten Spiegels nöthigenfalls auch jede gewünschte Richtung zu erzielen sein.

Anlangend nun die von Grüel getroffene Abänderung und Vereinfachung, so hat er von den wenigen wesentlichen Stücken, aus welchen der neue Apparat besteht, auch noch das Uhrwerk hinweggenommen, indem sowohl aus mechanischen als ökonomischen Gründen ein Vortheil damit verbunden und sogar ganz entbehrlich wird, insofern der Zweck dieses Uhrwerks mit Hülfe jeder gewöhnlichen Taschencylinderuhr, die doch überall zu Gebote steht, erreicht werden kann.

Eine Spindeluhr ist für den erwähnten Zweck nicht anwendbar, da in der Regel die Axe des Minutenzeigers beim Zifferblatt hervortritt, und für die einmal von G. getroffene Einrichtung eine Drehung nach einer falschen Richtung eintreten würde. G's Heliostat besteht nämlich aus dem an einer drehbaren Axe befestigten Metallspiegel und einer Verbindung von 3 Rädern,

welche mit Hülfe conischer Getriebe zuletzt auf diese Drehungsaxe wirken, und sie in der früher erwähnten Geschwindigkeit, man könnte sagen: Langsamkeit, bewegen. Das Ganze ruht auf einem länglichen mit Stellschrauben versehenen Brett. Die Räderverbindung innerhalb einer leichten messingenen Zarge ungefähr 1⅜" über dem Brett angebracht, ist in hohem Grade einfach und wird getrieben durch die Axe des Minutenzeigers der geöffneten und auf einem verstellbaren Support liegenden Spindeluhr. Das erste Rad hat an dem untern Ende seiner Axe ein an zwei Gelenken befestigtes Comon, welches sich durch Höherstellen des Supports mit der Uhr leichter in Verbindung bringen läßt und zugleich die etwa nicht vollkommen centrische Lage der Uhr unter dem Rade unschädlich macht. Die kleinste und schwächste Uhr wird im Stande sein ohne mindeste Störung ihres Ganges diesen Dienst zu verrichten, was erprobt und auch begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß ihre Bewegung mit 48maliger Verlangsamung auf den Spiegel übertragen wird, und zwar mit einem bedeutenden aus den einfachsten Sätzen der Mechanik erklärlichen Kraftgewinn. — Diejenigen Uhrwerke, welche nicht permanent im Gange gehalten, vielleicht auch nicht so vollkommen geschlossen werden können, daß nicht Staub oder die Verdickung des Oels an den Zapfen nach längerer Zeit einen hemmenden Einfluß üben sollten, pflegen zuweilen nach gehabten Ferien den gewünschten Dienst zu versagen; die Anwendung der Taschenuhr beseitigt auch diesen Uebelstand, und in welchem geringeren Grade ein etwa fehlerhafter Gang derselben, von angenommenen 5 Minuten täglich, die Richtung des reflectirten Strahles alterirt, ergiebt sich aus der Berechnung, daß die Differenz nach Verlauf von einer Stunde nur 0,052° beträgt. Wichtiger für die constante Richtung des Strahles ist die mit aller Sorgfalt vorzunehmende Aufstellung und Orientirung des Instrumentes, welche, wenn sie einmal geschehen ist, in ferneren Fällen durch nicht schwierig zu

findende Hülfsmittel leicht wieder bewerkstelligt werden kann.

§. 22. Von den Wirkungen mehrerer verbundenen ebenen Spiegel.

Wenn man die von einem ebenen Spiegel herkommenden Strahlen mit einem zweiten Spiegel auffängt, so ist es ebenso gut, als kämen die Strahlen unmittelbar von einem Object und das Bild des ersten Spiegels wird daher im zweiten Spiegel ganz nach den Gesetzen für die einfache Spiegelung abgebildet, nur ist das zweite Bild nicht mehr so hell als das erste, weil bei jeder neuen Spiegelung ein Theil des Lichtes verloren geht. Wenn z. B. ein jeder Spiegel die Hälfte des auffallenden Lichtes verschluckt, also nur die Hälfte zurückgiebt, so wird man nach der zweiten Spiegelung nur $\frac{1}{4}$ des vom Objecte unmittelbar herkommenden Lichtes haben, nach drei Spiegelungen den 8ten, nach vier Spiegelungen den 16ten Theil u. s. w., woraus erhellt, daß nach vielmaliger Spiegelung das Bild so dunkel werden kann, daß man es gar nicht mehr wahrnimmt.

Hieraus läßt sich leicht begreifen, wie man sich mittels zweier Spiegel von hinten sehen könne. Man darf nämlich nur hinter dem Rücken einen Spiegel anbringen und dessen Bild durch einen vorn vorgehaltenen Spiegel zum zweiten Male sich abspiegeln lassen. Ueberhaupt lassen sich mittelst zweier oder mehrerer Spiegel verschiedene Erscheinungen hervorbringen. Man kann z. B. mittelst vier Spiegel scheinbar durch undurchsichtige Körper, z. B. durch ein Brett hindurchsehen. In (Fig. 7, Taf. II) ist in der Mitte einer Röhre ein Planspiegel mn so angebracht, daß er unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont geneigt ist und daher sein Bild nach unten hin auf den ebenfalls um 45° geneigten Spiegel AB wirft. Dieser trägt sein Bild horizontal fort auf den um 45° geneigten Spiegel LD, dieser reflectirt wie-

derum das Licht aufwärts auf den Spiegel p q, der ebenfalls um 45° geneigt ist, und das Bild horizontal fortstrahlt, so daß das Auge die Objecte ebenso erblickt, als wenn es unmittelbar durch die Röhren bei m und n hindurch blickte, und das Sehen wird begreiflich nicht gehemmt, wenn zwischen beide Röhren ein Brett P P gestellt wird. Nur erscheinen die Gegenstände etwas dunkel, weil sie viermal abgespiegelt werden.

Wenn zwei ebene Spiegel LM und CN bei C zusammenstoßen und einen Winkel MCN bilden, welcher ein aliquoter, z. B. der 6te, 8te u. s. w. Theil von 4 rechten ist, so findet eine Vervielfältigung der Bilder statt, die ein Gegenstand a verursacht.

Der Spiegel CM (Taf. II, Fig. 8) nämlich entwirft sein Bild in a' und zwar in eben der Entfernung, in welcher a sich befindet, und auf gleiche Weise spiegelt der Spiegel CN den Punkt a in a'' ab. Aber das Bild a'' wird von dem Spiegel CM zum zweiten Male abgebildet in a''', so daß p a''' = p a'', und das Bild a' wird vom Spiegel CN von Neuem gespiegelt in a (5). Endlich bildet Spiegel CN das Bild a''' in a (4) und das Bild a (5) gleichfalls in a (4) ab, so daß also bei der dritten Spiegelung die Bilder zusammenfallen und kein neues mehr entstehen kann. Doch fallen nur dann die Bilder bei der dritten Spiegelung in einander, wenn der Neigungswinkel MCN beider Spiegel wie hier angenommen = 60° also den 6ten Theil der Peripherie ausmacht. Für diesen Fall hat man also 5 Bilder, und der Gegenstand a wird daher sechsfach gesehen. Hätten die beiden Spiegel eine Neigung von 45° gegen einander, so würde man 7 Bilder erhalten und den Gegenstand achtfach erblicken.

§. 23. Das Kaleidoskop.

Auf diese Eigenschaft der Vervielfältigung der Bilder durch Spiegel, die unter einem Winkel gegen ein-

ander geneigt sind, gründet sich das von **Brewster** erfundene Kaleidoskop, welches aus zwei Spiegeln besteht, die unter einem Winkel, der $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{10}$ u. s. w., überhaupt einen geraden aliquoten Theil der Peripherie beträgt, mit einander fest verbunden und in eine Röhre eingeschlossen sind. Die Spiegel haben die Form von langen, aber schmalen rechtwinkeligen Parallelogrammen. Oben ist die Röhre mit einem undurchsichtigen Deckel verschlossen, der nur an der Mitte eine kleine zum Hineinsehen bestimmte Oeffnung hat, unten aber mit zwei Plangläsern, die senkrecht auf die Axe der Röhre gestellt sind und einen Raum zwischen sich leer lassen, welcher allerlei, am Besten durchsichtige Körper, z. B. bunte Glasperlen und andere kleine bunte Glasfiguren einschließt. Die Spiegel reichen bis auf das innere Glas hinab. Sieht man nun durch die Augenöffnung, die gleichfalls mit einem halbpolirten Planglase bedeckt werden kann, damit kein Staub auf die Spiegel fällt, in die Röhre hinein, so erblickt man die Gegenstände im Boden durch die Siegel vervielfältigt, wodurch regelmäßige sternartige und vieleckige Figuren verschiedener Gestalt und unbeschreiblicher Schönheit mit dem angenehmsten Farbenspiel entstehen, auf welchen das Auge so gern verweilt, und diese Figuren lassen sich durch Umdrehung der Röhre, wodurch die beweglichen Gegenstände im Glasboden eine andere Lage annehmen, auf unzählige Weise verändern.

Man schleift das nach außen befindliche Glas des Glasbodens ein wenig matt, damit man keine außerhalb der Röhre befindlichen Gegenstände erblicken kann und die Vorstellung dadurch gestört werde. Auch hat man es am besten gefunden, wenn man statt der belegten Spiegelgläser nur unbelegte, aber auf der Rückseite mit schwarzer Oelfarbe angestrichene wählt, wodurch man zwar mattere, aber, weil die doppelten Bilder weggefallen sind, auch schönere und reinere Bilder erhält. nur muß man dann auch den Neigungswinkel der Spiegel nicht zu klein, namentlich nicht kleiner als $\frac{1}{8}$ oder $\frac{1}{6}$

der Peripherie nehmen, damit nicht zu viele Spiegelungen stattfinden und die letzten Bilder etwa zu undeutlich ausfallen.

Brewster hat das Kaleidoskop so eingerichtet, daß man lebende Gegenstände oder Blumen darin sehen kann. Er macht nämlich die Röhre noch um ein ziemliches Stück länger, als die Spiegel und setzt in deren Ende eine convexe Glaslinse ein, die ihr umgekehrtes Bild nicht allzunaher Gegenstände in ihrem Brennpunkte gerade dahin wirft, wo sonst die Glasfiguren sich befinden. Auf diese Weise kann man sehr schöne Bilder erhalten.

Man kann auch Kaleidoskope mit mehr als zwei Spiegeln einrichten z. B. mit vier Spiegeln, die in Form eines Parallelepipedums zusammengesetzt sind.

§. 24. Wirkung von parallel liegenden Spiegeln.

Wenn man zwei ebene Spiegel A und B einander parallel gegenüber stellt, so findet eigentlich eine Vervielfältigung bis ins Unendliche statt. Der Spiegel A wirft nämlich sein Bild dem Spiegel B zu, worin es zum zweiten Male abgebildet wird, aber dieses zweite Bild wird wieder auf den Spiegel A zurückgeworfen und in ihm zum dritten Male abgebildet, sodann von dem Spiegel B zum vierten Male u. s. w., so daß in jedem Spiegel eine unendliche Reihe von Bildern entsteht, die in gerader Linie hinter einander liegen. Man kann diesen Versuch leicht anstellen, wenn man zwischen zwei nach der angegebenen Weise aufgestellte Spiegel ein Licht stellt. —

Die Bilder, deren Anzahl eigentlich unendlich sein sollte, werden aber nach und nach wegen des vielen Lichtverlustes bei den wiederholten Spiegelungen so schwach, daß man sie gar nicht mehr erkennt. Hierauf gründet sich der Bau der sogenannten Spiegelkasten und

Spiegelzimmer. Erstere sind kleine Kasten, an deren innern Wänden zwei Spiegel parallel aufgestellt sind; oben sind sie mit einem Gazetuche bedeckt, damit gehöriges Licht eindringen kann, ohne jedoch einen deutlichen Blick in das Innere zu gewähren. Blickt man in einen solchen Kasten neben dem Rande eines Spiegels hinein, so sieht man den Boden ins Erstaunliche vervielfacht, und wenn auf ihm allerlei Figuren angebracht sind, denen man durch Drähte und Schnüre Bewegung geben kann, so wird die Erscheinung anziehend. Wenn man beide Spiegel unter einem kleinen Winkel gegen einander neigt, (so daß sie sich zwar nicht berühren, aber auch nicht parallel mit einander stehen), so erblickt man eine große Menge solcher Trapeze, welche die Spiegel einschließen, die alle in einem Kreise liegen und sich endlich vereinigen. Noch größere Vervielfältigung der Bilder erhält man, wenn man alle vier Wände des Kastens oder überhaupt die Wände eines senkrechten regelmäßigen Prisma mit gerader Seitenzahl mit Spiegeln besetzt und eine Oeffnung läßt, um hinein zu sehen. Statt dieser Oeffnung kann auch eine Stelle dienen, an welcher die Folie vom Spiegel abgekratzt ist. Auch drei Spiegel von gleicher Größe geben einen guten Spiegelkasten, welcher oft in Form des Kaleidoskops ausgeführt wird. — Man kann auch einen Kasten in Form eines vieleckigen senkrechten Prisma machen, und denselben durch Diagonalwände, die sich alle im Mittelpunkte durchschneiden in Dreiecke theilen. Jede Diagonalwand wird auf beiden Seiten mit Spiegeln besetzt und der obere Theil des Kastens mit Gaze bedeckt. Sieht man nun in eines der Dreiecke hinein, so sieht man einen Raum so groß wie der ganze Kasten, und jeder kann mit andern Figuren geziert werden. Man hat auch die Idee des Spiegelkastens im Großen ausgeführt, indem die ganzen Wände eines Zimmers mit Spiegel besetzt werden. Solche Zimmer, Spiegelzimmer, sind kostbar und daher auch selten; auch kann ihre Wirkung, wenn z. B. in ihnen ein Kronleuchter angebrannt wird, den

Beobachter mehr verwirren als ergötzen und den Eindruck sogar unangenehm machen.

§. 25. Das Dipleidoskop von Dent.

In der Praxis spielen heutzutage die Reflexionsinstrumente eine wichtige Rolle, und nicht immer bedient man sich als reflectirender Flächen gerade der ebenen Glasspiegelflächen, sondern nimmt unter beliebigen Winkeln geneigte Glasflächen, so daß prismatische Körper entstehen, die jedoch, da sie theils eine innen geschwärzte oder mattgeschliffene Oberfläche zeigen, nicht das Licht durchlassen, und wie wir später sehen werden, brechen und zerlegen, sondern nur reflectiren. —

Auf das Reflexionsgesetz gegründet ist das von Dent im Jahre 1844 veröffentlichte einfache Meridian-Instrument, Dipleidoskop genannt. Das Instrument ist außerordentlich einfach construirt, bedarf keiner Reparatur und muß, wenn es seinen Zweck gut erfüllen soll, genau und fest, horizontal in den Meridian des Ortes, an dem man die Beobachtung zu machen wünscht, gestellt werden. Indem das Instrument so einfach wie eine Sonnenuhr construirt ist, giebt es doch die Zeit bis zu einem Bruchtheile einer Sekunde an, und übertrifft daher die gewöhnlichen Sonnenuhren. Der Zweck, der durch ein gutes Dipleidoskop erreicht werden soll, besteht darin, sich womöglich täglich im Besitze der wahren Tageszeit zu wissen und also, wenn es nothwendig, eine Regulirung der Uhr, der Chronometeruhr zu haben, indem man durch eine Beobachtung des Durchganges der Sonne oder der Sterne durch den Meridian die richtige Zeit ermittelt. — Das Instrument hat nun folgende Einrichtung: D C, D B und B C (Fig. 9, Taf. I) sind drei reflectirende Ebenen, wovon D C eine ganz genau plangeschliffene Glasscheibe ist, während D B und B C metallene übersilberte Planspiegel sind.

Angenommen, der bei E auf DC einfallende Lichtstrahl 1 werde bei 1′ ins Auge reflectirt und das Sonnenbild scheine in der Richtung von D nach C vorzurücken. Der durch DC gehende Strahl wird von BC nach DB reflectirt und gelangt von da in der Richtung 2′ ins Auge. Das Bild der Sonne scheint sich nun in Folge dieser doppelten Reflexion von C nach D zu bewegen, und somit scheinen sich zwei Bilder zu nähern. Angenommen, der Strahl 1 sei in die Lage 3 und der Strahl 2 in die Lage 4 gerückt, so werden sich ihre reflectirten Strahlen offenbar in derselben Richtung 3′ und 4′ befinden, und beide Bilder der Sonne coincidiren, zum Zeichen, daß es eben Mittag ist. Da die Lichtstrahlen immer weiter vorrücken, so werden auch die Bilder an einander vorüber gehen und sich trennen. —

Man kann noch, damit ganz genau die Coincidenz beobachtet werde, ein Fernrohr mit Fadenkreuz auf den Punkt richten.

§. 26. Das Reflexionsinstrument von Pistor und Martins.

Wir erwähnen hier noch ein Instrument, das seinem Principe nach auf dem Reflexionsgesetze beruht, wenn wir auch in der Ausführung statt ebener Spiegel spiegelnde Prismenflächen vorfinden werden. Es ist dieses das Reflexions-Instrument (patentirt) von Pistor und Martins construirt, das als eine besondere Vervollkommnung der Spiegel-Instrumente zu betrachten ist. Die Vortheile der neuen Reflexionen bestehen darin, daß:

1) durch dieselben alle Winkel bis 180° meßbar sind und von der Gesichtslinie des Fernrohres aus gemessen werden;

2) daß sie leicht starke, scharf begrenzte Bilder geben, indem statt des einen Spiegels ein Prisma gewählt ist;

3) daß sie vor allen den Instrumenten, welche ganz oder theilweise diese Vortheile besitzen, das voraushaben, daß ihre Manipulationen identisch derjenigen der gewöhnlichen Sextanten sind, während durch die Eigenthümlichkeit der Construction keine Nachtheile in irgend einer Beziehung entstehen, wie es sonst leicht der Fall ist. Wir lassen die Construction des Instrumentes nach Neukrantz, im Berliner Gewerbeblatt, und Schneitler, „Instrumente der Meßkunst," folgen:

Das Instrument ist in den Zeichnungen als ganzer Kreis angedeutet und wird hauptsächlich in dieser Form ausgeführt, da die Vortheile zweier gegenüberliegender, die Excentrität corrigirender Nonien, der regelmäßigen Form des Körpers, welcher seinen Schwerpunct nahe am Centrum hat, und des vom Centrum ausgehenden Handgriffs zu überwiegend sind. Nur für Liebhaber von Sextanten werden diese Instrumente auch als Sextanten von Kreisen angefertigt. Bei dieser Form ist zwar ein größerer Radius anzubringen, als bei einem Kreise, doch gewährt die feinere Ablesung nur einen eingebildeten Vortheil, indem die Excentritätsfehler einen überwiegenden Nachtheil stiften. Die unregelmäßige Form des Sextanten, der den Schwerpunct unterstützende, also excentrisch anzubringende Handgriff macht eine größere Festigkeit der Speichen, also eine größere Schwere nöthig, so daß z. B. ein Kreis von 5" Radius weniger schwer und angenehmer zu handhaben ist, als ein Kreissegment von 6 — 7". Hält man einen 7zölligen Sextanten mit einem 5zölligen Kreise zusammen, so ergiebt sich, daß ein Winkel von 10° bei jenem des größern Radius wegen etwas deutlicher zu erkennen ist, als bei diesem, daß jedoch die Excentrität leicht 10 Sekunden übersteigt, der Vortheil der feinen Ablesung also nur eingebildet ist. Läßt man bei dem 5zölligen Kreise durch die Nonien nur 20 Sekunden angeben, so erhält man eine sehr übersichtliche Ablesung, bei der sich 10 Sekunden noch mit ziemlicher Sicherheit schätzen lassen, und da durch die gegenüberstehenden Nonien das ablesende Resultat ein

zuverlässiges wird, so kann die feinere, jedoch unzuverlässigere Ablesung bei dem Sextanten nicht das Gegengewicht halten. — Was das Prisma bei den neuen Instrumenten betrifft, so kommt es nur darauf an, daß seine Seiten keine durch gewöhnliche Hülfsmittel, z. B. durch ein Winkelmaß, erkennbare Pyramide bilden und daß seine Seiten plan sind. Auf die Genauigkeit der Winkel kommt es nicht an, indem das Prisma nur dazu dient, die Lichtstrahlen zu reflectiren, und aus diesem Grunde stets seine Lage unverändert inne behält.

In Fig. 1, Taf. V, ist A, B, C ein Kreis von 5″ Radius, die Alhidade a c mit gegenüberliegenden Nonien trägt den Spiegel d e, dessen nach B liegende Seite die reflectirende ist. In der gezeichneten Lage steht die Alhidade auf Null der Theilung, der Spiegel d e also parallel mit dem gleichseitigen rechtwinkligen Prisma f. Spiegel und Prisma stehen so gegen das Fernrohr, daß ein mit der Gesichtslinie desselben paralleler, auf den Spiegel fallender Lichtstrahl in das Fernrohr, und zwar parallel mit seiner frühern Richtung, gebrochen wird. Das Fernrohr g läßt sich auf und niederstellen und sieht theils in das Prisma, theils über dasselbe fort. Die Blendgläser sind zwischen Fernrohr und Prisma angebracht, sie lassen sich in die Höhe schlagen und um ihre Axe verdrehen. Bei der Stellung der Alhidade auf Null muß ein Lichtstrahl unter einem Winkel von etwa 20° auf den Spiegel fallen, um in das Fernrohr zu gelangen. Bewegt man die Alhidade mit dem Nonius c nach A zu, so bekommt man von 0 — 130° in ununterbrochener Folge die von der Seite B kommenden Lichtstrahlen in das Fernrohr (Fig. 2). Dieselben treffen den Spiegel in einem zunehmenden Winkel, der bei 130° bis zu 180° wächst.

Bei den ältern Sextanten dagegen muß, sobald die Alhidade auf Null steht, ein Lichtstrahl unter einem Winkel von etwa 75° auf den großen Spiegel fallen, um in das Fernrohr zu gelangen. Beim Drehen der Alhidade bis zu 130° müssen die Lichtstrahlen, um in das Fern-

rohr zu gelangen, den großen Spiegel in abnehmendem Winkel treffen, welcher bei 130° bis 10° fällt. (Die Winkel sind hier immer von der Spiegelfläche aus gemessen gedacht.) Der kleinste Winkel, unter welchem das Licht auf den Spiegel fällt, ist daher bei den Sextanten um etwa 10° kleiner, als bei dem in Rede stehenden Instrument.

Hervorzuheben ist hier, daß die ungünstigste Stellung des Spiegels bei den neuen Instrumenten bei 0 ist. Die Prüfung der Güte der Verglasung liegt daher dem Beobachter sehr zur Hand, eben so wie der Künstler dadurch gewissermaßen gezwungen ist, nur gute Spiegel anzuwenden. Bei den gewöhnlichen Sextanten können die Bilder bei kleinen Winkeln gut sein, während sie bei den größern schlecht sind. Unter allen Umständen sind die Bilder der neuen Instrumente bei großen Winkeln besser, als sie durch gewöhnliche Sextanten zu erlangen sind, da bei letztern, der Construction wegen, der Alhidadenspiegel nicht die nöthige Breite haben kann.

Bis zu den Winkeln von 130° ist das neue Instrument genau wie der Sextant zu gebrauchen. — Bewegt man nun die Alhidade im vorher bezeichneten Sinne noch weiter herum, so tritt zuerst von 120° ab das Prisma, dann das Fernrohr und der Kopf des Beobachters den Lichtstrahlen in den Weg, bis daß die Alhidade gegen ihre ursprüngliche Stellung 90° steht, wo dann diejenigen Lichtstrahlen in das Fernrohr reflectirt werden, welche mit der Gesichtslinie desselben einen Winkel von 180° bilden (Fig. 3.).

Bewegt man die Alhidade noch weiter herum, so lassen sich Winkel von 180 — 280° messen oder von 180° abwärts bis zu 100°. Man hätte dann das reflectirte Bild links von der Gesichtslinie aus liegen (Fig. 4), während es bei der früher angegebenen, dem Sextanten analogen Messung von 0 — 130° rechts von der Gesichtslinie des Fernrohrs aus gedacht war. (Fig. 5).

Will man daher die Winkelmessung bis 180° in derselben Art wie von 0 — 130° ausführen, so hat

man nur das Instrument in umgekehrter Lage, nöthigenfalls mit der linken Hand zu halten, was beim gewöhnlichen Sextanten in vielen Fällen auch nöthig wird.

Aus Obigem geht hervor, daß die zwischen 100 — 130° liegenden Winkel doppelt gemessen werden können, so daß die Beobachtung des Collimationsfehlers dabei wegfällt.

Soll das Instrument anders gehandhabt werden, so wird der Bequemlichkeit wegen vor das Fernrohr ein kleines Prisma so aufgestellt, daß man den Körper des Instruments in senkrechter Lage halten und von der Rückseite aus — etwa in senkrechter Richtung gegen dieselbe — in das Fernrohr sehen kann. Beim Messen großer Horizontalwinkel steckt man das Prisma, wie in Fig. 5 angedeutet ist, auf, so daß man von A aus in das Fernrohr sieht.

Die patentirten Reflexions-Instrumente werden in der Werkstätte der Erfinder in folgender Form und zu beigesetzten Preisen angefertigt:

Ein Patentkreis von 5″ Radius, durch zwei gegenüberstehende Nonien 20 Sekunden (auf Wunsch 10 Sekunden) angebend, für	85	Thlr.
Dasselbe Instrument mit Lampe, um die Theilung bei Nacht zu beleuchten	90	„
Ein Patentkreis $2\frac{1}{2}$″ Radius, durch 2 Nonien 30 Sekunden angebend, einfacher, jedoch mit Fernrohr und Loupe	35	„
Ein Patent-Sextant von 6″ Radius, 10 Sekunden angebend	80	„

§. 27. Der Heliotrop von Steinheil.

Wir erwähnen noch den Heliotrop von Steinheil, wie er zuerst in Schuhmachers astron. Jahrbuche 1844 beschrieben, und lassen im Allgemeinen die Hauptprincipien desselben folgen:

Ein Quadratzoll Spiegelfläche ist auf 15 Wegstunden weit mit freien Augen zu erkennen, wenn diesem Spiegel eine solche Richtung gegeben wird, daß sich darin ein Theil der Sonnenscheibe zeigt. Bei trigonometrischen Vermessungen, bei Signalisirungen und selbst bei telegraphischen Mittheilungen kann dieß ingeniöse Mittel treffliche Dienste leisten. Aber es war bisher ein kostbares Instrument, was auch schon des angebrachten Fernrohrs wegen nicht so transportabel war, als es in manchen Fällen wünschenswerth erscheint. Prof. Steinheil hat ein Mittel gefunden, diesen Zweck ohne Fernrohr mit einem einzigen Spiegel zu erreichen.

Könnte man nämlich bewirken, daß die von einem Spiegel reflectirenden Strahlen in irgend einer beabsichtigten Richtung gehen, so wäre nichts leichter, als einem gegebenen Punkte das Sonnenlicht zuzuführen. Aber man hat kein Mittel, um auf größere Distanzen dieß noch zu erkennen; wäre man daher im Stande, dem Spiegel eine solche Einrichtung zu geben, daß er zwei Bilder von der Sonne zeigte, welche genau 180° von einander ablägen, so diente das eine zur Orientirung des andern.[1]

Das Orientirungsbild müßte aber weniger intensiv sein, weil es dem Auge nur die Richtung bezeichnen soll, in welcher das intensive von der ganzen Spiegelfläche reflectirte Sonnenlicht wirkt. Eine solche Einrichtung aber läßt sich angeben. Denkt man sich von der Mitte eines Glasspiegels die Belegung in einem Scheibchen abgenommen von einer Linie Durchmesser, so werden an dieser Stelle die Sonnenstrahlen durch das Glas hindurchgehen. Sie sollen nun auf eine Glaslinse treffen, in deren Brennpunkte sich eine matte weiße Fläche befindet — etwa ein Stückchen Kalk —, so wird auf dieser Fläche ein kleines, helles Sonnenbild entstehen, welches nach allen Richtungen hin Lichtstrahlen zurückwirft. Es wird folglich auch Lichtstrahlen zurückwerfen genau in den Richtungen, in welchen diese durch die Linse hereingekommen sind.

Die Glaslinse bricht daher die auf ihrem Rückwege begriffenen Lichtstrahlen zum zweiten Male und führt die von einem Punkte kommenden wieder unter einander parallelen derjenigen Stelle des Spiegels zu, von welcher die Belegung abgenommen ist. Ein Theil derselben geht nun also wieder genau in denselben Richtungen der Sonne zu, in welchen sie von der Sonne kamen. Ein kleiner Theil aber wird von der untern Glasfläche beim Eintritt reflectirt und giebt so das matte Orientirungsbild, was genau 180° von dem intensiven Sonnenbilde ab liegt. Hält man nun das Auge so, daß es durch die von der Folie befreite Stelle des Spiegels hindurchsieht und zugleich die reflectirten zurückkehrenden Lichtstrahlen aufnimmt, so sieht man auf der Gegend ein durchsichtiges mattes Bild der Sonne liegen, was dem Vollmonde ähnlich ist. Dieses matte Sonnenbild deckt aber von der Gegend alle diejenigen Punkte, nach welchen von der Spiegelfolie im Innern des Glases reflectirte Sonnenstrahlen gehen. Alle Punkte, welche das Sonnenlicht deckt, empfangen folglich das Heliotropenlicht, d. h. von allen diesen Punkten aus zeigt der Spiegel einen Theil des Sonnenbildes.

Das matte Sonnenbild dient daher, dem Spiegel diejenige Richtung zu geben, durch welche er einem andern gegebenen Punkte Sonnenlicht zuwirft; das intensive, sogenannte Heliotropenlicht, durch Spiegelung der Sonnenstrahlen im I n n e r n d e s G l a s e s liegt da, wo dieses von der Folie berührt wird; das matte Orientirungsbild aber erzeugt sich an der ä u ß e r n Fläche des Glases, da, wo die Folie abgenommen ist.

Man sieht, daß aus diesem Grunde auch das Instrument keiner Correction bedarf, weil beide Bilder von derselben Planfläche erzeugt sind und daher, bis auf die Größen von der Ordnung des Winkels beider Flächen des Spiegels, genau 180° von einander abstehen werden.

Noch ist das Stativ anzugeben, durch welches man dem Spiegel die für jeden Fall erforderliche Lage giebt.

In einem gabelförmigen Metallstücke sei der Spiegel in zwei Spitzen so gehalten, daß er sich um letztere drehen läßt. Das Gabelstück aber habe zwischen den Trägerarmen des Spiegels nach unten zu eine durchbohrte Axe, auf welcher oben die Glaslinse sitzt, und unten im Brennpunkte derselben die matte Fläche angebracht ist. Diese durchbohrte Axe ist aufgenommen von einem kleinen Stativ, was es möglich macht, ihr jede Lage zu geben, und was zugleich zur Befestigung mit einer Holzschraube versehen ist. Auf solche Weise ist das Instrument auf einen äußerst kleinen Raum gebracht, so daß es, im Etui verpackt, nur 3" lang, $1\frac{1}{2}$" breit und $\frac{3}{4}$" hoch ist.

Soll nun das Instrument gebraucht werden, so wird das kleine Stativ durch Einschrauben der Holzschraube befestigt. Man stellt hierauf die durchbohrte Axe in der Richtung nach der Sonne, was sich daran leicht erkennen läßt, daß der Sonnenschein, welcher durch die von Folie befreite Stelle des Spiegels fällt, gerade auf die Mitte der Glaslinse trifft.

Dreht man nun den Spiegel um die durchbohrte Axe, so wird das reflectirte Sonnenbild in einem Kreis um die wirkliche Sonne geführt, dessen Abstand von letzterer um so größer ist, je größer die Neigung des Spiegels gegen die einfallenden Sonnenstrahlen war. Man kann folglich das Sonnenlicht nach jedem Punkte der ganzen Sphäre reflectiren, wobei jedoch die Intensität des reflectirten Bildes um so kleiner wird, je näher der Reflexionspunkt 180° von der Sonne ab liegt, was übrigens unzertrennlich ist mit der Reflexion durch eine Spiegelfläche. Um erst nahezu dem Spiegel die richtige Lage zu geben, hält man die Hand nach derjenigen Richtung vor, nach welcher das Heliotropenlicht gegeben werden soll, und ändert die Lage des Spiegels, bis der reflectirte Sonnenschein auf der Hand sichtbar wird. Jetzt sieht man durch die Oeffnung des Spiegels nach dieser Richtung und gewahrt alsbald das Orientirungssonnenbild. Dieses wird nun durch leises Klopfen zur Verstel-

lung des Spiegels noch so weit bewegt, bis es genau und centrisch denjenigen Punkt deckt, welchem man das Sonnenlicht zuschicken will. Es könnte der Fall eintreten, daß das Orientirungsbild zu intensiv ist, um durch dasselbe hindurch noch die Gegend deutlich unterscheiden zu können. Für diesen Fall hat man nur die Hand zwischen Sonne und Spiegel zeitweise zu bringen, um bald die Gegend, bald das Sonnenlicht und dessen Lage gegen erstern zu sehen.

Für die meisten Fälle ist dieser Heliotrop, selbst zum Zwecke trigonometrischer Messungen, völlig ausreichend. Doch könnte es wünschenswerther werden, namentlich zu gleichzeitigen und wechselseitigen Höhenmessungen, die heliotropische Vorrichtung gleich an das Objectiv des Theodoliten-Fernrohrs anzubringen. Diese Einrichtung fordert jedoch doppelte Spiegelung. Der eine Spiegel bildet vor dem Objectiv mit der optischen Axe den constanten Winkel von 45°. In seiner Mitte ist so viel Belegung abgenommen, daß das Fernrohr noch Licht genug von der Gegend erhält. Dieser Spiegel empfängt das Sonnenlicht durch einen zweiten, der um eine Axe drehbar ist, welche die Gesichtslinse senkrecht schneidet. Er bildet mit dieser Axe ebenfalls den Winkel von 45°. Ihm gegenüber ist das kleine hohle Rohr mit der Glaslinse und der matten Reflexionsfläche im Brennpunkte angebracht. Da sich nun der ganze Heliotropenkopf auch um die optische Axe drehen läßt, so wird es durch diese Vorrichtung möglich, volles Heliotropenlicht nach jedem Punkte der Sphäre, der in der Verlängerung der Gesichtslinie sich befindet, zu schicken. Diese Einrichtung dürfte sich dadurch besonders empfehlen, daß ein und derselbe Beobachter das Heliotropenlicht und die Messung gleichzeitig zu besorgen vermag.

§. 28. Die Prüfung des Schliffes plan-paralleler Gläser, von Oertling.

Werden wir auch noch in der Folge auf die Methode, plan-parallele Gläser zu schleifen, zurückkommen, so wollen wir jedoch schon hier, nachdem wir über die Plangläser und Planspiegel ausführlicher gesprochen, eine Methode zur Prüfung des Schliffes der Gläser vom rühmlichst bekannten Mechaniker August Oertling in Berlin folgen lassen, die dem Praktiker sehr zu empfehlen ist. —

Zu verschiedenen optischen Zwecken, namentlich seit der Erfindung des Hadley'schen Quadranten und Sextanten im Jahre 1731, ist es von großer Wichtigkeit, plan-parallele Gläser in möglichster Vollkommenheit herzustellen. Wer nur einigermaßen bekannt ist mit der Einrichtung der Spiegel-Instrumente, welche zu terrestrischen und astronomischen Winkelmessungen angewendet werden, wird wissen, welchen Einfluß die Spiegel und dunklen Blendgläser ausüben, wenn ihre Flächen nicht plan und parallel sind. Die Schwierigkeit, plan-parallele Gläser in genügender Vollkommenheit herzustellen, ist allgemein bekannt, und über deren Anfertigung wenig Befriedigendes mitgetheilt. Nur wenige Künstler haben es mit deren Anfertigung so weit gebracht, daß ihre Gläser als vollendet, oder als nahe vollendet betrachtet werden können.

Für die Schifffahrt sind die Spiegel-Instrumente von der äußersten Wichtigkeit, und nur vermittelst dieser, verbunden mit der genauen Zeitbestimmung durch astronomische Uhren, ist der Seefahrer im Stande, seinen Ort auf dem Meere mit Sicherheit anzugeben. In England war wohl zuerst das Bedürfniß nach guten Spiegel-Instrumenten vorhanden, und die Engländer waren auch die ersten, welche diesen Zweig der Optik, plan-parallele Gläser in möglichster Vollkommenheit herzustellen, ausbildeten. Ein Bericht an die Société d'Encou-

ragement vom Jahre 1832 zeigt, welchen Werth die Franzosen darauf legten, daß sie des Bedürfnisses, ihren Bedarf an plan-parallelen Gläsern ferner aus England kommen zu lassen, überhoben wären durch die zu jener Zeit in Paris angefertigten und der Société vorgelegten Gläser.

So lange in unserem Vaterlande das Bedürfniß nach den in Rede stehenden Gläsern noch in keinem Verhältnisse zu den Schwierigkeiten stand, welche in deren Anfertigung liegt, haben nur wenige Künstler diese unternommen, noch wenigere aber sie mit Glück durchgeführt. Durch Uebernahme der Anfertigung einer namhaften Anzahl von Spiegel-Instrumenten wurde Oertling veranlaßt, in diesen Zweig der Optik näher einzugehen, und wir wollen hier die Mittel angeben, deren er sich bedient hat, die Vollkommenheit plan-paralleler Gläser zu prüfen.

Das Spiegel-Instrument selbst giebt zwar die Mittel an die Hand, den Grad der Genauigkeit plan-paralleler Gläser zu prüfen, indessen sind diese Prüfungen zeitraubend und nicht ohne Schwierigkeiten, indem sie sich auf Beobachtungen gründen, welche man mit dem Instrumente anstellt, wozu man der Sonne bedarf, und wobei es ferner nothwendig ist, den dunklen Gläsern und den Spiegeln in ihren Einfassungen verschiedene Lagen geben zu können. Vollkommener und ungleich kürzer ist die Untersuchungsmethode, welche O. angewendet hat, und welche sich anwenden läßt, bevor das zu prüfende Glas mit dem Instrumente verbunden ist. Von dem größten Nutzen ist sie bei der Anfertigung plan-paralleler Gläser während der Operation des Polirens derselben.

Man kann die Vollkommenheit der Gläser beurtheilen, wenn sie noch auf der Schleifschale befestigt sind, und für den Fall, daß sich die Gläser als noch nicht vollkommen genügend zeigen, kann man durch Anwendung dieser Methode wissen, wie man mit dem betreffenden Glase weiter zu verfahren habe, um die hinreichende Genauigkeit desselben zu erreichen. Es giebt keine

so vollkommene Methode des Schleifens und Polirens der Parallel-Gläser, daß man das Mittel der Prüfung der Gläser während deren Bearbeitung derselben entbehren könnte. D. glaubte mit Sicherheit behaupten zu können, daß die geschärften Mittel der Prüfung der Gläser während deren Bearbeitung nur allein fähig sind, den Weg vorzuschreiben, welchen man einzuschlagen hat, um denselben die verlangte Vollkommenheit zu geben.

Bevor wir seine Untersuchungsmethode mittheilen, wollen wir noch der Mittel erwähnen, welche ihm vor deren Anwendung bekannt waren.

Dunkel gefärbte Gläser können am Sextanten dadurch geprüft werden, daß man denselben in ihren Einfassungen verschiedene Lagen nach der Richtung ihrer Ebenen giebt. Sind die Flächen des Glases zwar eben, aber nicht parallel zu einander, so wird der durchgehende Lichtstrahl eine Brechung erleiden. Bestimmt man mit Anwendung eines solchen zu untersuchenden dunkeln Glases vermittelst der Sonne den Collimationsfehler, so wird vermittelst des Mondes, ohne Anwendung eines gefärbten Glases, er anders gefunden werden, als ihn die Beobachtungen an der Sonne gaben. Durch Drehung des dunklen Glases wird der Collimationsfehler verändert werden, sobald dasselbe nicht vollkommen parallel ist, und die größten Abweichungen vom wahren Collimationsfehler die Lage des dunkeln Glases bezeichnen, in der sein Fehler vom größten Einflusse ist. Bemerkt man sich die Lage des Glases in seiner Einfassung für die gefundenen Maxima, so wird der Fehler des Glases von dem geringsten Einflusse sein, wenn dasselbe alsdann um 90° in seiner Einfassung verdreht wird.

Wäre das dunkle Glas nicht eben, so würde dadurch das Sonnenbild eine Veränderung im Durchmesser und in der Deutlichkeit erleiden. In beiden Fällen sind die Fehler schwer zu beobachten, wenn sie von geringer Bedeutung sind. Sind hingegen die Fehler so bedeutend, daß man sie durch diese Mittel leicht entdeckt, so sind die Gläser der Unbrauchbarkeit fast gleich zu achten.

Unbelegte Spiegelgläser prüfte man auf den Parallelismus dadurch, daß sie, vor dem Objectivglase eines mit einem Fadenkreuze versehenen feststehenden Fernrohres gehalten, die Richtung des Bildes vom anvisirten Object unveränderliche Deutlichkeit behielt, gleich viel, ob das Parallelglas vor dem Objectivglase gehalten ward oder nicht.

Belegte Spiegel kann man prüfen, wenn sie das Sonnenbild bei einem Winkel von 70° bis 80° gegen das Einfallsloth der Spiegelebene mit derselben Deutlichkeit in einem Fernrohre erscheinen lassen, als das mit demselben Fernrohre direct gesehene Bild der Sonne erscheint.

Durch Fühlhebel und Fühlniveau plan-parallele Gläser prüfen zu wollen, hält O. für erfolglos. Dieses Mittel kann den soeben angeführten nicht einmal zur Seite gestellt werden. Oertling sagt nun:

„Das Wesentliche meiner Untersuchungsmethode sowohl für dunkelgefärbte, für ganz undurchsichtige, für durchsichtige Gläser, sowie für belegte Spiegel, besteht in Folgendem: 1) in der Anwendung eines künstlichen Objectes anstatt der Sonne; 2) in der Anwendung zweier Fernröhre mit Fadenkreuzen; 3) in einer Vorrichtung, das zu untersuchende Glas zu halten und in seiner Ebene zu drehen; und 4) in einer Vorrichtung, den Winkel zweier Ebenen zu messen, wenn diese nicht vollkommen parallel zu einander sind.

Wenn die beiden ebenen Flächen eines Glases nur einen Winkel von zwei und einer halben Sekunde einschließen, so ist dieser mit dem von mir angegebenen Instrumente mit Sicherheit meßbar, sobald das Instrument eine Genauigkeit in der Theilung und Ablesung von 10 Sekunden zuläßt.

Beschreibung des Instruments. Fig. 1, Taf. VI, zeigt die Aufstellung desselben nebst dem in Anwendung gebrachten Objecte O in verkleinertem Maßstabe.

Die Bestimmung dieses Instruments ist:

1) Die Richtung anzugeben, nach der zwei vollkommen ebene Flächen gegen einander neigen, wenn sie nicht vollkommen parallel zu einander sind.

2) Die Neigung dieser Flächen durch das Maß des Kreisbogens auszudrücken, wenn der Winkel, den sie einschließen, auch nur Theile einer Bogen-Minute beträgt.

3) Eine Fläche zu prüfen, ob sie vollkommen eben ist. Letzteres kann auch mit weniger Hülfsmitteln als mit denen des ganzen Instruments geschehen.

Das Instrument in seiner gegenwärtigen Ausführung beschränkt sich darauf, daß der größte zu messende Winkel nicht viel über 15 Grade, der kleinste nicht unter 2,5 Sekunden betrage.

Uebrigens wird sich aus dem Folgenden ergeben, daß es möglich sei, nach den hier in Anwendung gebrachten Grundsätzen ein Instrument in solcher Vollkommenheit auszuführen, daß man damit die Neigung zweier ebenen Flächen bestimmen könne, wenn diese sich auch nur auf die einzelne Bogen-Sekunde beschränkte. Es ist dieses Instrument den Goniometern von Cauchoix und Wallaston nicht unähnlich, jedoch in seiner Praxis wesentlich davon verschieden.

A ist ein messingener Dreifuß mit drei Stellschrauben B. Dieser Dreifuß trägt das aufrechte Stück D, an dessen oberem Ende das Centrum C des Verticalkreises E sich befindet. Der Kreis E ist vermittelst dieses Centrums in seiner Ebene drehbar. Die Rückseite des Kreises E enthält auf einem eingesprengten Silberstreifen die Eintheilung, welche bei dem hier beschriebenen Instrumente in $\frac{1}{6}$ Grade oder von 10 zu 10 Minuten aufgetragen ist. Der Nonius N giebt hiervon den $\frac{1}{60}$ Theil oder 10 Sekunden an.

Mit dem Kreise ist ein Fernrohr F so verbunden, daß seine Axe der Ebene des Kreises E parallel ist, und seine verlängerte Axe die verlängerte Axe des Centrums des Kreises E schneidet. Ein zweites Fernrohr F ist mit dem aufrechten Stücke D vermittelst des Stückes G und eines zweiten drehbaren Stückes H so verbunden, daß

seine Axe mit der von F in einer Ebene liegt, und die verlängerte Axe von F ebenfalls die verlängerte Axe des Centrums des Kreises E schneidet.

Beide Fernröhre sind astronomisch, haben eine zehnmalige Vergrößerung und sind im Ocular mit einem feinen Fadenkreuz aus Spinngewebe versehen. Der Ocularauszug ist mit einem Getriebe I versehen. Die Zusammensetzung des Fernrohrs wird als bekannt vorausgesetzt; nur ist noch zu bemerken, daß der Ocularauszug mit einer Eintheilung bei e versehen ist, um daran die Verlängerung oder Verkürzung des Fernrohrs zu bestimmen, welches bei der Beurtheilung der ebenen Flächen von Wichtigkeit ist.

Der Dreifuß A trägt ferner einen kleinen Dreifuß A' mit drei Stellschrauben a; dieser Dreifuß wird gehalten durch drei Schrauben a', welche mit Spiralfedern unterlegt sind. Der Dreifuß A' zeigt sich im Grundriß als eine runde Scheibe, er hat in seiner Mitte eine aufrechte Hülse mit einer konischen Durchbohrung, Taf. VI, Fig. 2. Hierin paßt ein Stahlzapfen K sehr genau, doch so, daß er darin drehbar ist. Der Stahlzapfen K trägt ein kleines dreiarmiges Stück L, welches drei Schrauben s mit sehr feinen Gewinden enthält. Diese drei Schrauben s endigen sich in dünne konische Stäbchen mit einer fein abgerundeten kugligen Kuppe. Die drei Stäbchen dienen dazu, das zu untersuchende Glas zu tragen, und die drei Endpunkte der Stäbchen, auf denen das Glas ruht, können vermittelst der sehr feinen Schraubengewinde s so berichtigt werden, daß eine durch diese drei Punkte gelegte Ebene rechtwinklig zu der Axe des konischen Zapfens K ist, die als Drehaxe für diese Ebene dient. s sind die Stäbchen, welche so gestellt werden können, daß sie das aufgelegte Glas vor einer Verschiebung schützen; sie dürfen aber nie das Glas während der Untersuchung berühren. M stellt das zu untersuchende Glas vor.

Die Axe K ist drehbar vermittelst des Knopfes P, der an einem besondern konischen Zapfen K' befestigt ist.

Die herzförmige Scheibe h, welche an dem Zapfen K festgeschraubt ist, dient zur Verbindung mit dem Zapfen K', was vermittelst des kleinen Stiftes t an der Scheibe t', die mit dem Zapfen K' ein Ganzes bildet, bewirkt wird, Taf. VI, Fig. 2 und 3. — Durch diese Art der Verbindung des Knopfes P mit der auf das Sicherste drehbaren Axe K kann jeglicher Zwang vermieden werden, den etwa die Hand ausübt, wenn sie den Knopf P dreht. Man ist durch diese Vorrichtung im Stande, das aufgelegte Glas M in der Richtung seiner, die Unterstützungspunkte berührenden Ebene ohne irgend eine Schwankung mit der größten Sicherheit zu drehen.

Q ist ein schwarzes, vollkommen ebenes Glas, welches zwischen sechs Punkten so gehalten ist, daß seine obere Fläche auch eine vollkommene Ebene bleibt. Es liegt in einer ausgedrehten Vertiefung des länglichen Messingsstücks Q', welches mit dem Charnierstück R und der Höhe R' so verbunden ist, daß man dem Glase Q die gehörige Lage und Correction geben kann, wozu auch die Zug- und Druckschrauben q und q' dienen.

S (Fig. 1) ist eine geschwärzte Scheibe aus dünnem Messingblech, welche so befestigt ist, daß sie wohl vor das Fernrohr F als vor das Fernrohr F' so gestellt werden kann, daß die directe Durchsicht jenseits des zu untersuchenden Glases dadurch verhindert wird, damit nicht andere Lichtstrahlen als die vom zu untersuchenden Glase in die Fernröhre gelangen können.

Das Object O besteht aus punktirten Linien, die sich rechtwinklig durchschneiden. Sie sind mit schwarzer Farbe auf eine mattgeschliffene Glastafel gezogen. Die Glastafel bildet ein Viereck von ungefähr 5 Zoll Seite, mit einer Einfassung aus Holz, und ist in einer Entfernung von ungefähr 8 Fuß vom Instrumente so aufgestellt, daß man es in beliebiger Höhe gegen das Fenster leicht befestigen kann. Vermittelst einer Zwingschraube und eines senkrechten feststehenden Stabes kann dieß leicht bewirkt werden.

Anwendung des Instruments.

Gegen das Fenster eines Zimmers, in einer Höhe von 7 bis 8 Fuß, wird das Object befestigt. Hierzu kann außer dem soeben beschriebenen punktirten Kreuze auch ein an der Fensterscheibe ausgespannter horizontaler und unmittelbar davor ein vertical gespannter schwarzer Seidenfaden dienen. Das Instrument wird alsdann in einer Entfernung von ungefähr 8 Fuß vom Objecte so aufgestellt, daß das Object mit den an dem Instrumente befindlichen Fernröhren direct gesehen werden kann, Taf. VI, Fig. 1.

Es wird vorausgesetzt, daß die Correctionen am Instrumente geschehen seien, so daß die Fernröhre F F' parallel zur Ebene des Kreises E, die senkrechte Drehaxe K' ebenfalls parallel zu dieser Ebene, daß die Drehaxe K auch mit den Axen der Fernröhre F, F' in einer Ebene liegt; daß ferner die Lage des Glases Q rechtwinklig zur Drehaxe K und in der Richtung der Ebene, welche die Axen der beiden Fernröhre F, F' und die Drehaxe K gemeinschaftlich haben, erhöht oder erniedrigt, und vermittelst des Charniers R unter den erforderlichen Winkel gestellt werden könne. Ferner wird vorausgesetzt, daß die Endpunkte der Stäbchen s, s, s so berichtigt seien, daß die darauf gelegte Ebene rechtwinklig zur Drehaxe K ist.

I. Die Richtung anzugeben, nach welcher zwei vollkommen ebene, sehr nahe parallele Flächen gegen einander neigen.

Es seien Taf. VI, Fig. 8, 9, 10, die Durchschnitte eines zu untersuchenden, sehr dunkel gefärbten, oder auch vollkommen undurchsichtigen Glases, an welchem die Richtung der Neigung angegeben werden soll.

Man lege das Glas auf die Stäbchen s, s, s, Tafel VI, Fig. 1 und 2. Man beobachte durch das untere Fernrohr F' das durch zweimalige Reflexion (O Q M F') gesehene Object O und richte den dunkeln Spiegel so, daß die Durchschnittspunkte der Objectlinien und

die des Fadenkreuzes im Fernrohre einander decken. Ist dies erreicht und dreht man vermittelst des Knopfes P das zu untersuchende Glas in seiner Ebene, so müssen die Durchschnittspunkte der beiden Kreuze in unveränderter Deckung bleiben. Das Bild im Fernrohr zeigt sich dann so wie Fig. 4, Taf. VI.

Das vollkommene Stillstehen des Bildes, wenn auch das Glas in seiner Ebene gedreht wird, kann vermittelst der Correctionsschrauben s, s, s erreicht werden, und dient als Kennzeichen der vollendeten Correction.

Man läßt das Glas unverändert liegen, beobachtet nun durch das obere Fernrohr F das reflectirte Bild des Objectes, und richtet das Fernrohr so, daß das Bild des punktirten Kreuzes und das Kreuz im Fernrohr sich beinahe decken. Wäre das Glas ein vollkommen paralleles, so würde das Bild im oberen Fernrohre F seine Lage nicht ändern, wenn das Glas auch in seiner Ebene vermittelst des Knopfes P gedreht würde. Ist das Glas ein nicht vollkommen paralleles, so wird das reflectirte Bild seine Stellung im Fernrohre verändern, sobald das Glas in seiner Ebene gedreht wird. Die unveränderte Lage der unteren Fläche wird dabei immer durch das untere Fernrohr F' controlirt.

Wird also das Bild bei der Drehung des Glases abgelenkt, und kommt es nur darauf an, zu wissen, nach welcher Seite hin das Glas am stärksten oder am schwächsten ist, so darf man nur das Maximum der Ablenkung über oder unter dem Fadenkreuze des Fernrohrs F durch Drehung des Glases hervorbringen; die Abweichung liegt dann in der verlängerten Richtung der Axe des Fernrohrs, und die Beurtheilung, ob die stärkere oder schwächere Seite dem Objecte zugekehrt sei, läßt sich nach bekannten optischen Grundsätzen leicht angeben. Diese Bestimmung der Richtung der Abweichung ist von großem practischem Nutzen.

II. Den Winkel zu messen, welchen zwei vollkommen ebene nahe parallele Flächen einschließen.

a) Wenn das Glas undurchsichtig ist: Man lege das zu untersuchende Glas auf die Stäbchen s, s, s, überzeuge sich durch das untere Fernrohr F′ und durch Drehung des Glases von seiner richtigen Lage, wie oben angegeben worden, beobachte das Bild im oberen Fernrohre F, und drehe das Glas so lange, bis die Abweichung vom Fadenkreuze ein Größtes wird. In dieser Lage läßt man das Glas unverändert liegen, und bringt durch Drehung des Kreises E, und somit auch des Fernrohrs F, die Durchschnittspunkte beider Kreuze zur Dekkung. (Das Bild im Fernrohre ist dann wieder wie in Fig. 4, Taf. VI.) Nachdem dieß erreicht worden, wird der Stand des Kreises an der Eintheilung abgelesen.

Man läßt nun das Fernrohr F unverändert in seiner Lage und dreht das Glas in seiner Ebene um 180°, bis die Abweichung des Bildes wieder ein Größtes wird. Nun ist das Bild so, wie es Fig. 6, Taf. VI, zeigt; es muß die verticale Linie des Objectes das Fadenkreuz im Fernrohre schneiden. In dieser Lage bleibt das Glas wieder unverändert in seiner Lage, und die Bilder im Fernrohre F werden zum zweiten Male durch Verstellung vermittelst des Kreises E zur Deckung gebracht. Der Stand des Kreises wird abermals an der Eintheilung abgelesen. Der vierte Theil der Differenz zwischen der ersten Ablesung und der zweiten ist der Winkel, den beide Flächen einschließen.

Beweis.

Es seien Taf. VI, Fig. 11 und 12, A B und G H, so wie A′ B′ und G′ H′ die Durchschnittslinien der beiden Ebenen, deren Winkel gemessen werden soll, O das Object, O E der einfallende und E F der reflectirte Strahl. Es sei C D parallel A B und die Bezeichnung von Figur 11 mit der von Fig. 12 analog, x der Winkel, den beide Ebenen einschließen.

Es ist $< O E D = < O' E' D' =$ Constans. und man hat:

$O\,E\,H = \text{Const.} + H \qquad O'\,E'\,G' = \text{Const.} - H$

$O\,E\,H = F\,E\,G \qquad O'\,E'\,G' = F'\,E'\,H'$,

folglich:

$F\,E\,G = \text{Const.} + H$ und $F'\,E'\,H' = \text{Const.} - H$,

ferner ist:

$G\,E\,C = x$ und $G'\,E'\,H' = x$,

und man erhält:

$F\,E\,G = G\,E\,C = \text{Const.} + 2\,H$ und $F'\,E'\,H' - C'\,E'\,H' = \text{Const.} - 2\,H$,

oder

$F\,E\,C = \text{Const.} + 2\,H$ und $F'\,E'\,C' = \text{Const.} - 2\,H$.

Durch Subtraction dieser beiden Gleichungen erhält man:

$$F\,E\,C - F'\,E'\,C' = 4\,H,$$

und hieraus ist:

$$H = \frac{F\,E\,C - F'\,E'\,C'}{4}.$$

Fände man ꝫ. B. die erste Ablesung $= 0^\circ\ 12'\ 40''$,
die zweite Ablesung $= 0\ \ 13\ \ 30$,
die Differenz $= 0^\circ\ \ 0'\ 50''$,

so wäre:

$$H = \frac{0^\circ\ 0'\ 50''}{4} = 0^\circ\ 0'\ 12'', 5.$$

Das von O. in Anwendung gebrachte Instrument giebt vermittelst des Nonius die Winkel bis auf 10 Sekunden an. Fände sich bei einer Messung die Winkeldifferenz nur 10 Sekunden, so würden die beiden Ebenen des Glases einen Winkel von $\frac{10''}{4} = 2{,}5$ Sekunden einschließen.

Taf. VI, Fig. 4, 5, 6, 7 stellen Bilder im Felde des Fernrohrs dar, wenn ein auf beiden Seiten vollkommen ebenes, nicht ganz paralleles, undurchsichtiges Glas, von welchem Fig. 8, 9, 10 Durchschnitte bezeichnen, beobachtet wird. Ist Fig. 8, Taf. VI, ein Durchschnitt nach der Richtung der größten Abweichung, a c der einfallende und b c der reflectirte Strahl, c d das

Einfallsloth und Fig. 4 das in dieser Richtung gesehene Bild, so verändert sich die Gestalt des Bildes, wenn das Glas um 90° gedreht wird (wie der Durchschnitt Fig. 9 bezeichnet, und wo a c', c d', c b' dasselbe bedeuten, wie a b, c d, c b, Fig. 8), wie Fig. 5 es zeigt; bei fortgesetzter Drehung des Glases um 90° ist die Lage desselben wie Fig. 10, die entgegengesetzte von Fig. 8, und Fig. 6 das zugehörige Bild. Dreht man abermals das Glas in demselben Sinne um 90°, so entsteht Fig. 7, und nach der folgenden Drehung um 90° wieder das erste Bild Fig. 4.

b) Wenn das Glas durchsichtig ist:

Wenn das Glas durchsichtig ist, so wird zwar die Messung des Winkels, den beide Flächen einschließen, ganz auf dieselbe Weise vollführt, als wäre das Glas undurchsichtig; es ist nur zu berücksichtigen, da das durchsichtige Glas die horizontalen Linien des Objectes doppelt zeigt, daß dasjenige Bild in Anwendung gebracht werde, welches von der obern Fläche eines durchsichtigen Glases reflectirt wird.

III. Beurtheilung des Parallelismus durchsichtiger Gläser nach den doppelten Bildern.

Dies allgemein bekannte Prüfungsmittel für den Parallelismus durchsichtiger Gläser und belegter Spiegelgläser kann durch die Anwendung dieses Instruments noch erhöht werden, indem die Lage des Fernrohrs, die Lage des Objectes und die des zu prüfenden Glases unverändert gegen einander bleiben, nur daß das Glas in der Richtung seiner unteren aufliegenden Ebene gedreht wird.

Durchsichtige plan-parallele Gläser, sowohl die ganz vollkommenen als die unvollkommenen, zeigen unter gewissen Einfallswinkeln von nahen Gegenständen ein doppeltes Bild.

Hat man ein vollkommen plan-paralleles Glas unter einer solchen Neigung gegen das Object gerichtet, daß der einfallende Strahl desselben ungefähr 50° gegen das Einfallsloth des Spiegels beträgt, besteht das Object

aus einer verticalen und einer horizontalen Linie, und ist die reflectirende Ebene des Spiegelglases der horizontalen Linie des Objectes parallel, so erscheint die horizontale Linie doppelt, während die verticale einfach erscheint. Dies zweite Bild der horizontalen Linie kommt von der zweiten Fläche des Glases, wegen seiner Durchsichtigkeit. Die Entfernung der zwei Linien ist abhängig von der Dicke des Glases, von dem Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfalllothe macht, von dem Brechungsvermögen des Glases und von der Entfernung des Objectes. Bei nicht vollkommen parallelen Gläsern ist die Entfernung der zwei Linien noch zugleich abhängig von der Richtung, in welcher das Glas beobachtet wird; dieser letzte Umstand giebt das bekannte Prüfungsmittel für den Parallelismus. Mit Anwendung dieses Instruments und mit Hinzufügung des punktirten Kreuzes als Object wird dieses Prüfungsmittel das vollkommenste, dessen man sich bedienen kann.

Das reflectirte doppelte Bild eines plan-parallelen oder nahe plan-parallelen Glases ist von ungleicher Lichtstärke. Bei unbelegten Gläsern ist das von der vorderen Fläche reflectirte Bild lichtstärker als das von der hinteren Fläche reflectirte. Bei belegten Spiegelgläsern findet der umgekehrte Fall statt. Nennt man das von der vorderen Fläche des Glases das primäre und das von der hinteren Fläche reflectirte das secundäre Bild, so ist bei unbelegten Gläsern das primäre, bei belegten Gläsern das secundäre Bild das lichtstärkere. Ihre ungleiche Lichtintensität kann dazu dienen, die Bilder von einander zu unterscheiden.

Der Abstand der beiden Bilder von einander gilt nicht für sich allein als Norm zur Erkenntniß der gleichen Dicke eines Glases; es kommt noch hinzu ihre respective Lage gegen einander, und es kann das secundäre Bild auf die eine oder die andere Seite des primären fallen, je nachdem der Grad der Neigung beider Ebenen zu einander ist. Decken können sich die Bilder nie vollkommen, wohl aber können bei nicht vollkomme-

nen Spiegeln in gewissen Lagen entweder die beiden Bilder der verticalen, oder die beiden Bilder der horizontalen Linie zur Deckung kommen.

Bei vollkommen plan-parallelen Spiegeln nimmt mit der Entfernung des Objectes der Abstand des primären und secundären Bildes von einander ab und verschwindet bei einem unendlich weit entfernten Objecte ganz; dagegen geben nicht vollkommen plan-parallele Spiegel auch von unendlich weit entfernten Objecten doppelte Bilder. Gute Spiegel-Instrumente sollen unter allen Umständen das Sonnenbild so wiedergeben, als sähe man die Sonne direct mit dem Fernrohre, d. i. als einen scharf begrenzten Kreis, wie Taf. VI, Fig. 14; dagegen zeigen nicht vollkommen parallele Spiegel bei großen Einfallswinkeln das Sonnenbild an entgegengesetzten Seiten mit mehreren vortretenden Rändern, wie Fig. 15, oder bei weniger fehlerhaften, wie Fig. 13, wo die vortretenden Ränder so nahe liegen, daß sie als Einer erscheinen. Wenn die beiden vollkommen ebenen Flächen eines Spiegels einen Winkel von mehr als 4 Sekunden mit einander bilden, so ist das Sonnenbild bei einem Einfallswinkel von etwa 80° schon nicht mehr vollkommen scharf begränzt.

In Fig. 16 ist ein Sonnenbild mit einem unbestimmten Rande gezeichnet; diese Erscheinung rührt von einer unvollkommenen Fläche des Spiegels her.

IV. Eine Fläche zu beurtheilen, ob sie vollkommen eben sei.

Eine Fläche ist nur dann vollkommen eben, wenn die unter einem Winkel von etwa 80° gegen das Einfallsloth einfallenden Strahlen eines Objects unter allen Richtungen von dieser Fläche so reflectirt werden, daß ein vollkommen achromatisches, von aller Aberration freies Fernrohr von mindestens 10maliger Vergrößerung von diesen reflectirten Strahlen ein vollkommenes Bild des Objectes wieder zu Stande zu bringen vermag. Bei dieser Methode der Prüfung ist die Gestalt des Objects

nicht gleichgültig, sobald es sich darum handelt, die kleinsten Abweichungen von der vollkommenen Ebene nachzuweisen.

Die Sonne und der Mond sind wohlgeeignete Objecte zu dieser Prüfung, nur daß sie nicht zu jeder Zeit zur Disposition stehen. Eben so geeignet und für viele Fälle von noch größerem Nutzen ist das von O. angewendete Object, zwei schwarze punktirte Linien auf weißem Grunde, die sich rechtwinklig durchschneiden; das punktirte Kreuz.

Die folgenden Versuche veranlaßten O. zu desselben Anwendung.

Er beobachtete einen horizontal gespannten schwarzen Seidenfaden, der als Object am Fenster vor dem oben beschriebenen Instrumente befestigt war, indem sein Bild von der Oberfläche eines dunkelgrünen polirten Glases reflectirt wurde. Oertling hatte mehrere solcher dunkler Gläser in verschiedenen Farben, die ihm jedoch nicht alle den Faden in gleicher Deutlichkeit zeigten. Einige zeigten den Faden vollkommen deutlich bei jeder Lage des Glases, andere vermochten dies nur, wenn die Reflexion in gewissen Richtungen des Glases geschah, noch andere vermochten den Faden nur zu zeigen, wenn der Ocularauszug des Fernrohrs mehr oder weniger ausgezogen wurde. Seine Aufmerksamkeit fiel zunächst auf diejenige Erscheinung, wenn ein Glas nach der einen Richtung den Faden deutlich, nach einer anderen Richtung entweder kein Bild, oder nur einen Schimmer von Bild reflectirte. O. änderte das Object dahin, daß er unmittelbar vor dem horizontalen Faden noch einen verticalen schwarzen Seidenfaden von gleicher Stärke, als der horizontale war, zog, so daß sie sich berührten. Er fand sogleich, daß das letzterwähnte Glas die Eigenschaft hatte, zur Zeit nur einen der beiden Fäden im Bilde des Fernrohrs zu zeigen, nämlich so: in einer gewissen Richtung das Bild mit dem Fernrohr gesehen, sah er die horizontale Linie des Seidenfadens und gewahrte dann nichts von dem verticalen Faden; drehte

er aber das Glas um ungefähr 90° in einer Ebene, so sah er den verticalen Faden und konnte den horizontalen nicht erkennen. Ein anderes Glas ließ ihn auch nur eine der reflectirten Linien des Fadenkreuzes durch das Fernrohr deutlich erkennen, jedoch unter ganz andern Umständen, nämlich durch Verlängerung oder Verkürzung des Fernrohrs, und zwar zur Zeit immer nur eine Linie des Fadenkreuzes.

Wurde nämlich das Fernrohr verlängert, so erschien nur der horizontale Faden, und wurde das Fernrohr verkürzt, so erschien nur der verticale Faden; dabei war es gleichgültig, ob das reflectirende Glas in seiner Ebene gedreht wurde oder nicht, dies änderte nichts am Bilde. Andere Gläser zeigten die Eigenschaft des letztgenannten umgekehrt, bei einer Verlängerung den verticalen und bei einer Verkürzung den horizontalen Faden.

Daß nur eine Linie des Objects verschwand, brachte ihn auf die Vermuthung, es möge eine Zerstreuung der Lichtstrahlen nach der Richtung der Breite des verschwindenden Fadens stattfinden, und die Verwischung nach dieser Richtung bei den ihn rechtwinkelig durchkreuzenden ohne Einfluß bleiben, indem hier die Verwischung nach der Länge des Fadens geschehen mußte. Um diese Vermuthung zu bestätigen, zog er auf einer mattgeschliffenen Glastafel schwarze Linien mit kleinen Unterbrechungen, und entwarf so ein Kreuz, aus punktirten Linien bestehend. Die Anwendung dieses punktirten Kreuzes bestätigte, was er vermuthet hatte.

Wenn die eine Linie verschwand, so wurde die andere nicht etwa eine deutliche punktirte Linie, sondern eine volle schwarze Linie, entweder die horizontale oder die verticale.

Fernere Versuche zeigten noch, daß ein Glas, unter einer gewissen Richtung gesehen, das punktirte Kreuz vollkommen deutlich zurückzugeben vermochte, sowohl die horizontale als die verticale Linie, beide zu gleicher Zeit;

wenn jedoch das Glas von ungefähr 90° in seiner Ebene gedreht wurde, so verschwand die horizontale fast ganz und die verticale punctirte Linie wurde eine ununterbrochene schwarze.

Diese Erscheinungen geben ein Mittel an die Hand, zu beurtheilen, ob eine Fläche vollkommen eben sei. Sie geben nicht nur ein Prüfungsmittel für polirte Oberflächen, sondern auch für mattgeschliffene Flächen, und zwar nicht nur für Glasflächen, sondern auch fein mattgeschliffene Metall- und Harzoberflächen, indem die letzteren ebenfalls die Eigenschaft haben, sehr schräg auffallende Lichtstrahlen deutlich zu reflectiren. Nur unter der einzigen Bedingung, daß eine Oberfläche ein vollkommenes Planum sei, vermag man das von derselben reflectirte Bild des punktirten Kreuzes nach allen Richtungen in seiner ganzen Schärfe der Zeichnung mit einem vollkommenen Fernrohre wieder deutlich zu erkennen.

Die Abweichungen eines unvollkommenen Planums können nun sehr verschiedenartig sein. Sie erzeugen, je nachdem sie entweder im Sinne eines sphärisch convexen, eines cylindrisch hohlen oder cylindrisch erhabenen, eines facettenartigen Glases 2c. geschliffen sind, die verschiedenartigsten Abweichungen im reflectirten Bilde, und man ist im Stande, aus dem Bilde zu beurtheilen, in welchem Sinne die Abweichung von der Ebene stattfindet.

Also, „im Sinne eines sphärischen 2c.“, damit will O. andeuten, daß die Abweichungen nur unendlich gering zu sein brauchen, um im reflectirten Bilde durch ein gutes Fernrohr deutlich erkannt zu werden, und daß mechanische Messungen solche Abweichungen, wie O. durch den Ausdruck „im Sinne“ bezeichnen will, nicht nachzuweisen vermögen.

Wir wollen hier einige Erkennungszeichen angeben: Man denke sich das Instrument aufgestellt, so wie oben angegeben, mit dem punktirten Kreuze als Object davor,

und das zu untersuchende Glas von den Stäbchen s, s, s getragen. Man visire mit dem Fernrohre F direct nach dem Objecte, und stelle den Auszug des Fernrohrs so, daß man das punctirte Kreuz sehr deutlich im Felde des Fernrohres erblickt, und bemerke den Stand des Auszugs an der daran angebrachten Theilung. Nun richte man das Fernrohr F so, daß man das vom Glase reflectirte Bild des Kreuzes ins Feld des Fernrohres bekommt; erscheint nun das punktirte Kreuz eben so deutlich als das mit dem Fernrohre direct gesehene, so ist das Glas nur dann ein vollkommen ebenes, wenn das Bild auch noch unverändert deutlich bleibt, wenn auch das Glas in seiner Ebene gedreht wird.

Ist dagegen das Glas concav, so zeigt das unveränderte Fernrohr das Bild Fig. 18, eine Verkürzung des Fernrohres das Bild Fig. 17. Gläser, deren Abweichungen beträchtlicher sind als im verhergehend erwähnten, zeigen das punktirte Kreuz wie Fig. 20 und Fig. 22, und bei veränderter Fernrohrlänge wie Fig. 19 und Fig. 21.

Viele dieser Erscheinungen können nun auch mit Gläsern hervorgebracht werden, welche vollkommen eben sind, wenn man ihnen durch geeignete Vorrichtungen eine solche Spannung giebt, daß die beabsichtigte Form in der Oberfläche des Glases hervorgebracht wird. Hebt man die künstlich hervorgebrachte Spannung wieder auf, so nehmen die Gläser ihre ursprüngliche Form wieder an und geben wieder deutliche Bilder. Einige Erscheinungen erklären sich dadurch, wenn man zwei vollkommen ebene Gläser neben einander legt, und von beiden Gläsern ein und dasselbe Object in das Fernrohr reflectiren läßt.

Zur Beurtheilung einer Fläche ergeben sich nun folgende Erkennungszeichen:

Wenn die Länge des Fernrohres so gestellt ist, daß es das punktirte Kreuz, direct durch dasselbe gesehen, deutlich zeigt, und ist dann das reflectirte Bild von der

vor dem Fernrohre liegenden zu prüfenden Fläche von einer solchen Beschaffenheit, daß die horizontale in der Richtung ihrer Breite verwischt erscheint, die verticale aber so, daß die Punkte derselben in einander laufen, oder daß die verticale punktirte als eine volle Linie sich darstellt, und behält dieses Bild auch dann noch dieselbe Beschaffenheit, wenn die reflectirende Fläche in ihrer Ebene gedreht wird, so ist die Abweichung von der Ebene eine sphärische, entweder concav oder convex.

Um nun zu wissen, ob diese Fläche eine concave oder eine convexe sei, dient Folgendes zur Entscheidung:

1) Verkürzt man das bisher in seiner Länge unverändert gebliebene Fernrohr, und wird dann die horizontale punktirte Linie in eine continuirliche verwandelt, und verschwindet zu gleicher Zeit die verticale, so ist die Fläche concav.

2) Verkürzt man das Fernrohr, und es verschwindet die horizontale und verwandelt sich zu gleicher Zeit die punktirte verticale in eine continuirliche Linie, so ist die Fläche convex.

3) Verlängert man das Fernrohr, und wird die punktirte verticale Linie eine continuirliche, und verschwindet dabei die horizontale, so ist die Fläche concav.

4) Verlängert man das Fernrohr, und es verschwindet die verticale, die horizontale punktirte aber wird eine continuirliche, so ist die Fläche convex.

Man hat also bei den concaven Flächen das Erkennungszeichen, daß beim Verkürzen des Fernrohres die verticale und beim Verlängern desselben die horizontale Linie verschwindet.

Für die convexen Flächen findet der umgekehrte Fall statt. Das Maß der Verkürzung oder Verlängerung des Fernrohrs richtet sich nach den Krümmungen der vorliegenden Flächen.

5) Cylindrisch gekrümmte Flächen geben nach der Richtung der Axe der Cylinderfläche das punktirte Kreuz vollkommen deutlich, und nach der Richtung rechtwinkelig

zur Axe des Cylinders geben sie das reflectirte punktirte Kreuz so wie sphärische Flächen. Die Veränderung in der Länge des Fernrohres entscheidet hier eben so durch das Verschwinden einer der Linien, ob die cylindrische Fläche eine hohle oder eine erhabene sei.

6) Facettenartige Flächen geben eine oder beide Linien doppelt nach Verschiedenheit der Flächen.

Die Gläser nun, welche Bilder, wie die vorliegenden, hervorbringen, sind dennoch in ihren Flächen von der vollkommenen Ebene so wenig abweichend, daß bei einer directen Durchsicht unmittelbar vor dem Objectiv eines 10mal vergrößernden Fernrohres eine Veränderung des Objects nicht zu erkennen ist; noch weniger sind Abweichungen, wenn sie nicht beträchtlicher sind als bei den hier in Anwendung gebrachten Gläsern, durch Fühlhebel-Einrichtung nachzuweisen.

b) Von den Gesetzen der Spiegelung und den Erscheinungen bei gekrümmten Spiegeln.

§. 29. Der convexe Spiegel und seine Wirkung.

Wenn ein Spiegel MN (Taf. II, Fig. 9) nach der erhabenen Oberfläche einer Kugel gekrümmt ist, so heißt er convex. Seine Wirkung ist der der ebenen Spiegel insofern gleich, als er auch die Gegenstände aufrecht darstellt, verschieden aber darin, daß er sie zugleich verkleinert und zwar um so mehr, je mehr seine Oberfläche gekrümmt ist. Auch liegt das Bild immer hinter der spiegelnden Fläche.

Es sei A ein Punkt, welcher Strahlen auf den Kugelspiegel MN endet, und K der Mittelpunkt der Kugel, von der der Spiegel ein Theil ist.

Zieht man KA, so steht diese Linie senkrecht auf der Spiegelfläche, und ein Strahl also, der in dieser Richtung auf den Spiegel fällt, wird in sich selbst zurückgeworfen. Ist nun AE ein anderer Strahl, so muß man, um seinen Weg nach der Reflexion zu finden, das Einfallsloth KE ziehen (denn die Halbmesser stehen auf der Kugelfläche senkrecht) und den Reflexionswinkel CED dem Einfallswinkel AEC gleichmachen. Der reflectirte Strahl ED nimmt also einen solchen Gang, daß er von einem Punkte F zu kommen scheint, welcher zwischen dem Spiegel und seinem Mittelpunkte K liegt, und auf gleiche Weise scheinen alle von A ausgehenden Strahlen, wie AE' nach der Reflexion von dem Punkte F zu kommen, daher in F ein Bild des Punktes A gesehen wird. Zieht man BK, so bestimmt sich auf gleiche Weise das Bild des Punktes B in b und es wird begreiflich, warum ein Kugelspiegel ein aufrechtes Bild giebt. Dieses Bild Fb ist aber in dem Maße kleiner als sein Gegenstand AB, als KF kleiner als KA ist, und daraus wird zugleich auch klar, warum das Bild verkleinert erscheint.

Das Bild des Kugelspiegels ist also nicht ein wirkliches, sondern nur ein Scheinbild, weil die reflectirten Strahlen einen solchen Weg nehmen, daß sie von einem Bilde herzukommen scheinen. — Es lassen sich mancherlei interessante Fragen in Bezug auf den Kugelspiegel aufwerfen, allein sie haben für die practische Optik keinen weitern Einfluß, da dergleichen Spiegel bei optischen Insteumenten fast gar nicht gebraucht werden. Man gebraucht den Kugelspiegel zum Abzeichnen von Landschaften, indem sich die Lage der einzelnen Theile und ihr Größenverhältniß an dem verkleinerten Bilde leichter abnehmen läßt, als bei unmittelbarer Betrachtung. Man muß aber hierzu einen Spiegel nehmen, dessen Krümmung nicht zu stark ist, weil sonst die Bilder zu klein ausfallen und am Rande zu sehr verzerrt erscheinen. Gewöhnlich bedient man sich zu diesem Zwecke eines Planconvexglases, dessen ebene Seite man mit schwarzer Oelfarbe anstreicht, damit bloß die vor-

dere convexe Fläche spiegele. Dergleichen Spiegel findet man unter dem sonderbaren Namen Erdspiegel nicht selten.

Auch pflegt man Glaskugeln mit einem Amalgam aus Zinn, Wismuth und Quecksilber auszugießen, wozu Wolf folgende Vorschrift giebt. Man schmelze 1 Theil Zinn und 1 Theil Wismuth mit einander, und sobald die Masse flüssig geworden ist, gieße man 2 Theile Quecksilber dazu, durchrühre es mit einem eisernen Drahte geschwinde, und wenn die Materie zu rauchen anfängt, gieße man sie in eine Schüssel mit kaltem Wasser. Hierauf drücke man sie durch ein Handschuhleder oder doppeltes leinenes Tuch, und was durchgeht schütte man in eine (vorher auf Kohlen erwärmte) Glaskugel, wende dieselbe sanft um, bis sich das Amalgam allenthalben angehängt hat, und schütte das Uebrige heraus. Man muß hierbei darauf sehen, daß das Glas inwendig ganz rein sei und die Materie beim Eingießen nicht umherspritze. Uebrigens gelingt dieser Versuch wegen des auf der Oberfläche des Amalgams befindlichen Schmutzes, welcher nichts anderes ist, als Quecksilberoxyd, nur selten gut, sondern der Spiegel bekommt in der Regel viele matte Flecken.

§. 30. Von den concaven oder Hohlspiegeln.

Wenn die spiegelnde Oberfläche eines Spiegels die hohle Krümmung einer Kugel hat, so heißt der Spiegel ein concaver oder hohler, wie in Fig. 10, Taf. II. Die Erscheinungen bei Hohlspiegeln sind ungleich mannichfaltiger, als beim convexen Kugelspiegel und erfordern daher eine genaue Erörterung. — Vor allem aber bemerken wir, daß dem Hohlspiegel immer eine kreisförmige Begrenzung gegeben wird, und wenn man dann durch die Mitte des Spiegels und den Mittelpunkt der Kugel, nach welcher er gekrümmt ist, eine gerade Linie zieht, so nennt man diese Linie die Axe des Spiegels.

Sodann ist beim Hohlspiegel vorzüglich der Punkt F der Axe merkwürdig, welcher um den halben Halbmesser, $\frac{1}{2}$ AK vom Spiegel entfernt ist und den man wegen seiner bald zu beschreibenden Eigenschaft Brennpunkt nennt.

Wenn nun ein Object (Taf. II, Fig. 10) zwischen dem Spiegel und dem Brennpunkte F liegt, so erscheint es im Spigel aufrecht stehend und vergrößert.

Es sei nämlich X ein Punkt der Axe, so wird der Strahl XA in sich selbst zurückgeworfen, aber der Strahl Xa hat nach der Reflexion die Richtung aa', welche sich ergiebt, indem man das Einfallsloth Ka zieht und den Winkel Kaa' dem Winkel KaX gleich macht. Der reflectirte Strahl aa' scheint also von dem Punkte x der Axe hinter dem Spiegel herzukommen, und da alle übrigen Strahlen, welche wie Xb nicht zu weit von der Axe sich entfernen, ebenfalls nach der Reflexion aus dem Punkte x zu kommen scheinen (wie bb'), so folgt, daß man in x ein Scheinbild des Punktes X erblicken muß. Auf gleiche Weise bestimmt sich auch das Bild des Punktes Y, indem man KY zieht und untersucht, wo Strahlen, die wie Yd außer der Richtung Yy liegen, die Ky hinter dem Spiegel schneiden, wenn man die reflectirte Richtung rückwärts verlängert. So ergiebt sich denn ein aufrecht stehendes und in dem Maße vergrößertes Bild, als KX in Kx enthalten ist. Man kann noch bemerken, daß das Bild xy um so weiter hinter dem Spiegel liegt, je näher das Object XY am Brennpunkte sich befindet. Aus dem Mittelpunkte K gesehen erscheinen Bild und Gegenstand unter demselben Winkel.

§. 31. Luftbilder durch den Hohlspiegel erzeugt.

Wenn ein Gegenstand XY (Taf. VII, Fig. 1) weiter vom Spiegel weg ist, als der Mittelpunkt K, so entsteht vermittelst der Reflexion durch den Hohlspiegel ein

verkleinertes und verkehrtes Bild x y, welches zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte in freier Luft schwebt und diesem um so näher ist, je weiter der Gegenstand vom Spiegel absteht. Es scheint zwar, wenn man diesen Versuch anstellt, als ob das Bild sehr nahe auf dem Spiegel liege, allein wenn man einen Gegenstand zwischen dasselbe und den Spiegel bringt, so überzeugt man sich bald vom Gegentheile.

Es sei nämlich XA die Axe und X ein in ihr befindlicher strahlender Punkt, der die Strahlen XA, Xa, Xb auf den Spiegel sendet. Von diesen wird der erstere in sich selbst zurückgeworfen, weil er mit der Axe zusammenfällt, aber der Strahl Xa hat nach der Reflexion die Richtung ax, indem der Reflexionswinkel Kax dem Einfallswinkel KaX gleich sein muß, und vermöge dieser Richtung trifft er, so wie alle andern von x kommenden Strahlen mit der Axe in x noch vor dem Brennpunkte F zusammen, so daß hier ein Bild des Punktes X entsteht. Um nun auch das Bild des Punktes Y zu finden, ziehe man durch Y und den Mittelpunkt K den Strahl Yd, so wird dieser, da er senkrecht auf der Spiegelfläche steht, in sich selbst zurückgeworfen, und das Bild von Y liegt auf Kd in y, welchen Punkt man am leichtesten findet, wenn man in x auf der Axe des Perpendikels x y errichtet. Sonach erscheint das Bild verkehrt und auch verkleinert, in sofern Kx kleiner ist, als KX. Von K aus gesehen, erscheinen Bild und Gegenstand unter demselben Winkel und sie verhalten sich ihrer Größe nach, wie Kx und KX. Das Bild ist ein wirkliches.

Je weiter der Gegenstand XY (Taf. VII, Fig 1) vom Spiegel entfernt ist, desto näher fällt das Bild an den Brennpunkt, kann aber nie über ihn hinausgehen. wenn der Gegenstand unendlich weit entfernt ist, so fällt das Bild in den Brennpunkt selbst, und da in diesem Falle die von einem und demselben Punkte des Objects kommenden Strahlen als unter sich parallel angesehen werden können, so kann man auch sagen, Strahlen, die mit der Axe parallel sind, vereinige der

Spiegel in seinem Brennpunkte. Umgekehrt auch müssen Strahlen nach der Reflexion mit der Axe parallel fortgehen, wenn der Gegenstand im Brennpunkte liegt, und in diesem Falle entsteht also kein Bild.

Je näher nun der Gegenstand an das Glas rückt, desto weiter rückt auch das Bild vom Brennpunkte ab nach K hin, und wenn der Gegenstand sich in K befindet, so fällt sein Bild eben dahin, wie man aus einer Zeichnung, die richtig ausgeführt wird, leicht findet. Wenn aber endlich das Object näher an den Spiegel rückt, als K, so fällt sein Bild über K hinaus und erscheint vergrößert. Denn so wie der Gegenstand X Y (Fig. 1) sein Bild zwischen K und F in x von der Größe x y entwirft, ebenso wird umgekehrt ein Gegenstand x y sein Bild in X von der Größe X Y erzeugen, weil im letztern Falle die Strahlen von x mittels des Spiegels eben so nach X gelangen, als sie von X nach x kommen.

Sonach kann man auch durch den Hohlspiegel umgekehrte Luftbilder in beliebiger Vergrößerung darstellen, und hiervon überzeugt man sich leicht, wenn man einen Hohlspiegel von mäßiger Brennweite (Entfernung des Brennpunktes vom Spiegel, die etwa 2 bis 3 Zoll betragen kann) einem Lichte so nähert, daß dieses sich zwischen dem Brennpunkte und dem Kugelmittelpunkte befindet. Läßt man dann die Strahlen auf ein in gehörige Entfernung gehaltenes Papier fallen, so erblickt man das umgekehrte und vergrößerte Bild der Flamme.

Die Wirkung der Hohlspiegel ist übrigens ganz der Wirkung convexer Glaslinsen analog, und daher können die weiter unten gegebenen genauen Erörterungen über Glaslinsen auch zur Erklärung der Erscheinungen bei Hohlspiegeln dienen.

§. 32. Berechnung für den Ort des Bildes.

Man hat eine Formel, mittels welcher man aus dem Abstande des Objectes vom Spiegel und der Brenn-

weite den Abstand des Bildes genau berechnen kann. Ist nämlich der Kugelhalbmesser des Spiegels = r also die Brennweite = $\frac{1}{2}$ r = p und nennen wir den Abstand des Objectes a, so ist der der Abstand des Bildes

$$\frac{a\ p}{a - p}$$

Es sei z. B. p = 3 Zoll, a = $3\frac{1}{2}$ Zoll, so ist der Abstand des Bildes $\frac{3 \cdot 3\frac{1}{2}}{3\frac{1}{2} - 3} = 21$ Zoll.

Die Größe des Bildes ist $\frac{p}{a - p}$, wenn die des Objectes = 1 gesetzt wird, also ist im vorigen Beispiele das Bild $\frac{3}{3\frac{1}{2} - 3}$ = sechsmal größer als das Object. Nennt man d den Abstand des Bildes, so ist seine Größe auch $\frac{d}{a}$. Bei unendlich weit entfernten Gegenständen giebt man die Größe des Bildes mittels des Sehewinkels an, und wenn dieser 0 ist, so ist die Größe des Bildes p · 0, wo 0 in Theilen des Halbmessers ausgedrückt werden muß. So erscheint z. B. die Sonne unter einem Winkel von 32 Minuten, welcher in Theilen des Halbmessers ungefähr $\frac{1}{108}$ beträgt, daher die Größe des Sonnenbildes = $\frac{+p}{108}$, nämlich den 108ten Theil der Brennweite gleich. Diese Rechnungen sind gerade so, wie bei Sonnengläsern.

Wird in der Formel $\frac{a\ p}{a - p}$, p > a, d. h. liegt das Object dem Spiegel näher, als der Brennpunkt, so wird der Abstand des Bildes negativ und in diesem Falle giebt die Formel den Abstand des Punktes hinter dem Spiegel, von welchem die Strahlen herzukommen scheinen.

§. 33. Abweichung wegen der Kugelgestalt. Parabolische und elliptische Hohlspiegel.

Wenn wir im Vorigen sagten, daß die Strahlen, welche wie YE (Taf. II, Fig. 11) mit der Axe parallel auf den Hohlspiegel fallen, in dem Brennpunkte F desselben sich sammeln, so gilt dieses streng genommen nur für diejenigen Strahlen, welche der Axe sehr nahe liegen; entferntere aber, wie YE kommen schon vor dem Brennpunkte etwa in f mit der Axe zusammen, und die daher entstehende Abweichung Ff heißt die Abweichung wegen der Kugelgestalt. Sie ist bei Parallelstrahlen, wenn die Entfernung EP des Einfallspunktes $E = x$ gesetzt und die Brennweite mit p bezeichnet wird,

$$Ff = \frac{x\,x}{8\,p},$$

also dem Quadrate der Einfallshöhe x proportional. Ist z. B. $x = \frac{1}{2}$ Zoll und $p = 10$ Zoll, so findet man $Ff = 0{,}003$ Zoll, welches nur gering ist. Wäre aber $x = 2$ Zoll, so wäre Ff schon $\frac{1}{20}$ Zoll.

Hieraus folgt, daß, besonders bei solchen Spiegeln, die man zu optischen Werkzeugen, als Fernröhren, benutzt, die Oeffnung (Breite des Spiegels) nicht zu groß genommen werden darf, wie in der Lehre von den Fernröhren näher erörtert wird. Um aber sich doch nicht auf eine kleine Oeffnung beschränken zu müssen, hat man den Hohlspiegeln eine andere Form zu geben gesucht, bei welcher die Abweichung wegen der Kugelgestalt ganz wegfällt.

Diese Form ist die parabolische, welche man erhält, indem sich eine Parabel um die unverrückte Axe herumdreht. Diese Axe wird auch die Axe des Spiegels und alle Strahlen, welche mit ihr parallel auffallen, sammeln sich genau in einem und demselben Punkte. Zwar bleibt noch eine Abweichung bei den Strahlen übrig, welche zwar unter sich parallel sind, aber gegen die Axe um gewisse Winkel geneigt, oder die von einem

außerhalb der Axe liegenden unendlich weiten Punkte herkommen; aber diese Abweichung ist äußerst gering und namentlich geringer, als bei sphärischen Hohlspiegeln. Parabolische Hohlspiegel, die man bei Spiegelteleskopen anwendet, sind aber weit schwieriger zu verfertigen, als sphärische.

Bei Mikroskopen, wo die Objecte dem Spiegel sehr nahe liegen, hat der elliptische vor dem sphärischen den Vorzug. Diese Art Spiegel sind nach einer krummen Oberfläche geformt, welche entsteht, indem sich eine Ellipse um ihre unverrückte große Axe dreht. Diese Axe ist zugleich die Axe des Spiegels und die Brennpunkte der Ellipse sind auch seine Brennpunkte. Alle Strahlen nun, welche von dem einen Brennpunkte aus auf den elliptischen Spiegel fallen, vereinigen sich genau in dem andern Brennpunkte und es bleibt nur eine Abweichung bei denjenigen Strahlen übrig, die nicht aus einem Punkte der Axe auslaufen.

Die Eigenschaft der Hohlspiegel, Bilder zu erzeugen, kann zu mancherlei Experimenten benutzt werden, weil die luftigen Figuren ein äußerst zartes Aussehen haben. Man kann z. B. Blumenvasen, selbst lebende Dinge in freier Luft schwebend vorstellen, die verschwinden, sobald man ihnen zu nahe kommt und sie fassen will. Die Gegenstände, welche man abbilden will, müssen auf eine geschickte Art verborgen werden, und die Hohlspiegel, mit denen man solche Erscheinungen hervorbringen will, dürfen nicht zu kurze Brennweite haben, damit die Bilder nicht zu klein ausfallen, auch müssen sie große Oeffnungen haben, damit die Vorstellung gehörig lichtvoll sei. — Auch kann man das Bild in einer transparenten Rauchwolke erzeugen, die man mittels eines Kohlenbeckens erzeugt.

Gewöhnlich wendet man zu solchen Versuchen gläserne Hohlspiegel an, die aus einem auf der einen Seite erhabenen und auf der andern gleichviel vertieften Glase (wie z. B. einem Uhrglase) bestehen, welches auf der erhabenen Seite nach Art der gewöhnlichen Zimmer-

spiegel mit Folie belegt wird. Die Brennweite eines solchen Spiegels ist ebenfalls dem halben Halbmesser der Kugel gleich, nach deren Oberfläche gekrümmt ist. Die doppelten Bilder sind hierbei von keinem erheblichen Nachtheile. — Wie sich auch belegte Sammelgläser als Hohlspiegel gebrauchen lassen, wird weiter unten gezeigt.

§. 34. Einrichtung der Reverberen.

Ein weit wichtigerer Gebrauch der Hohlspiegel ist der, den man von ihnen als Lampenspiegel, Reverberen macht. Da wir nämlich wissen, daß diejenigen Strahlen, die aus dem Brennpunkte des Hohlspiegels kommen, so reflectirt werden, daß sie mit der Axe parallel fortgehen, so wird man mittels dieser Eigenschaft das Licht einer Lampe, die sich in dem Brennpunkte befindet, auf eine große Strecke ungeschwächt hinauswerfen können. Sie werden in der Regel aus übersilbertem Kupferbleche gemacht, mit dem Hammer in die parabolische Form geschlagen und aus freier Hand polirt. Ihre Anwendung findet vorzüglich bei Leuchtthürmen statt, wo sie das Licht noch in Entfernungen von mehreren Meilen sehen lassen.

§. 35. Die Brennspiegel.

Wenn man die Strahlen der Sonne auf einen Hohlspiegel von großer Oeffnung fallen läßt, so wird in dem Brennpunkte, oder vielmehr in dem Raume des kleinen Sonnenbildes ungemein große Hitze erzeugt, woher auch jener Punkt den Namen hat. Der Hohlspiegel wirkt also als Brennspiegel, indem er die sämmtlichen Strahlen der Sonne, welche auf seine Oberfläche fallen, in den kleinen Raum des Sonnenbildes hinwirft, wo also eine ungeheure Verdichtung des Lichtes stattfinden muß.

Um den Grad der Dichtigkeit des Lichtes im Brennraume zu schätzen, dienen folgende Ueberlegungen: Das Licht, welches auf die ganze kreisförmige Oberfläche des Brennspiegels fällt, wird in den Raum des Sonnenbildes zusammengedrängt, dessen Durchmesser $= \frac{p}{108}$ ist, und die Dichtigkeiten werden sich umgekehrt verhalten, wie die Flächen dieser beiden Kreise, also umgekehrt wie die Quadrate ihrer Durchmesser; nämlich wenn der Durchmesser der Spiegeloberfläche $= Z$ gesetzt wird, so verhält sich die Dichtigkeit an der Spiegeloberfläche zu der im Brennraume, wie $\left(\frac{p}{108}\right)^2 : Z^2 = \frac{p^2}{11664} : Z^2$, so daß das Licht mittels des Brennspiegels

$$11664 \cdot \frac{Z^2}{p^2} \text{ mal}$$

verdichtet wird. Hieraus sehen wir zugleich, daß die Verdichtung wie das Quadrat der Breite des Spiegels zunimmt, abnimmt aber wie das Quadrat der Brennweite, und hieraus folgt, daß Brennspiegel eine im Verhältniß zu ihrer Brennweite große Oeffnung haben müssen.

Ist z. B. die Brennweite des Spiegels = 12 Zoll, seine Breite 6 Zoll, so wird das Licht im Brennraume $11664 \cdot \frac{6^2}{12^2} = 2916$ mal verdichtet und hiernach kann man sich die große Wirkung der Brennspiegel wohl erklären. Bei dieser Rechnung ist jedoch nicht die Verschluckung mit in Betracht gezogen, welche die spiegelnde Oberfläche auf das Licht ausübt.

Große Brennspiegel sind mehrmals verfertigt worden, unter andern einer von Tschirnhausen, der 3 Leipziger Ellen Durchmesser und 2 Ellen Brennweite hatte. Er war aus einer zwei Messerrücken starken Kupferplatte geschlagen und wohl polirt, hatte also im Verhältniß zu seiner Größe eine ungemeine Leichtigkeit. Man

macht auch Brennspiegel von Holz oder Pappe, indem man die eine hohlgeformte Seite vergoldet und polirt.

Besonders merkwürdig sind die Brennspiegel, die man aus ebenen Spiegeln zusammengesetzt und die Buffon zuerst in Ausführung gebracht hat. Läßt man nämlich die von vielen ebenen Spiegeln reflectirten Sonnenstrahlen sämmtlich in denselben Ort fallen, so ist klar, daß daselbst große Hitze erzeugt werden kann. Auf diese Weise verband Buffon 168 kleine Planspiegel so, daß sie mittels eines einfachen Mechanismus ihre Bilder alle nach einem Punkte hinwarfen, und die Wirkung dieser Vorrichtung war der der heftigsten Brennspiegel gleich. Mit 40 Spiegeln zündete er z. B. in 50 Fuß Entfernung ein getheertes buchenes Brett an und schon 12 Gläser reichten hin, um in 20 Fuß Entfernung leichter brennbare Sachen, z. B. Feuerschwamm, in Brand zu stecken. Ein anderes Mal wurde mit 117 Gläsern Silber geschmolzen und mit 128 Gläsern auf 150 Fuß Entfernung ein getheertes tannenes Brett angezündet. — Auf solche Weise mag Archimedes, wenn anders die Erzählung wahr ist, der römischen Flotte im Hafen von Syrakus Schaden zugefügt haben.

Man setzt die kleinen Planspiegel in parabolischer Krümmung so zusammen, daß sie ihre Strahlen nach dem Brennpunkte der Parabel hinwerfen. Einer solchen Anordnung kann man sich auch als Leuchtspiegel bedienen, wenn man das Licht in den Zusammenstrahlungspunkt aller Spiegel stellt, wo es dann von diesen ungeschwächt in weite Entfernung fortgetragen wird. —

§. 36. Cylinder- und Kegelspiegel. Anamorphosen.

Nachdem wir im Allgemeinen die gekrümmten Spiegel betrachtet und namentlich die Hohlspiegel, wollen wir in einem folgenden Abschnitte die Cylinder- und Kegelspiegel nur kurz betrachten, da sie dem Prak-

tiker im Allgemeinen kein besonderes Interesse gewähren. Indeß dürfen die Erscheinungen, die sie darbieten, nicht zu den Spielereien gezählt werden, weil zu ordentlicher Construction der Zerrbilder, die sie in gute Bilder verwandeln sollen, mathematische Kenntnisse anzuwenden sind und sie Schülern zum reiflichen Ueberlegen Anlaß geben. In einem vollständigen physikalischen Kabinette dürfen sie also eigentlich nicht fehlen.

Die Anamorphosen.

Hierunter versteht man Zeichnungen, welche verzerrt und mißgestaltet erscheinen, wenn sie nicht vom rechten Gesichtspunkte aus betrachtet werden. Man kann mehrere Arten derselben aufstellen. Doch wollen wir nur zwei beschreiben.

Eine gewöhnliche Art optischer Anamorphosen besteht in einer sehr in die Höhe und nach oben zu in die Breite gezogenen Zeichnung, welche dann regelmäßig erscheint, wenn man sie auf ein Blatt A B Taf. XIV, Fig. 1 legt und durch das Loch O eines andern auf dem ersten senkrechtstehenden Blattes betrachtet. Man denke sich nämlich in einiger Entfernung von dem Blatte AC parallel mit ihm eine Bildesfläche D E aufgestellt und projicire das Bild von dem Orte O des Auges aus auf das Blatt AB. Es geschieht dies nach dem ersten Grundsatze der Perspective dadurch, daß man von O aus durch alle Punkte des Bildes auf D E gerade Linien zieht und sie soweit verlängert bis sie die Fläche A B schneiden; in diesen Durchschnitten liegen die Projectionen der entsprechenden Punkte des Bildes D E. So ist z. B. die Projection von M in m und die von N in n und hieraus ist klar, daß die Linie M, welche im Bilde DE nur kurz sein kann, in der Projection m n auf der Fläche AB sich doch sehr in die Länge ausdehnen kann. Ebenso muß sich auch eine Linie t u (Taf. XV, Fig. 1), welche mit der Fläche des Blattes A B (Taf. XIV, Figur 1) etwa parallel laufen mag, in der Prorection t' u'

desto mehr in die Breite ziehen, je später die verlängerten Linien Ot, Ou das Blatt AB treffen. Wenn daher ein Beobachter das auf dem Blatte AB befindliche Bild frei vor sich hat, so wird es ihm höchst verzerrt und mißgestaltet erscheinen, weil er es nicht vom rechten Augenpunkt aus betrachtet; sobald er aber durch das Loch O in dem Blatte AC sieht, also den richtigen Standpunkt angenommen hat, so ist das Verhältniß der Sehewinkel im deformirten Bilde dasselbe, als wenn ein wohlgezeichnetes Bild gleicher Art in DE stünde; durch die ungewöhnliche Stellung, in welcher der Beobachter das Bild betrachtet, läßt er leicht sein Urtheil über die wahre Entfernung der Punkte m und n sich bilden, so daß er dieselben in M und N zu sehen glaubt und somit in MN ein regelmäßiges Bild der verzerrten Länge mn erblickt. Seine Einbildungskraft selbst unterstützt ihn hierbei, welche geschäftigt ist, sich eher ein regelmäßiges, als ein verzerrtes Bild vorzustellen, und glaubt er eine in DE aufgestellte ganz regelmäßige Zeichnung zu erblicken.

Um hiernach ein regelmäßig gezeichnetes Bild so zu verzerren, daß es von O aus betrachtet wieder regelmäßig erscheint, kann man am leichtesten folgendermaßen verfahren. Man schließt, das zu verzerrende Bild in ein Rechteck ABCD ein (Taf. XIV, Fig. 2), so daß eine Seite desselben in der Durchschnittslinie DG (Taf. XIV, Fig. 1) liegt, in welcher die Tafel DE, worauf das regelmäßige Bild gedacht wird, die Tafel AB schneidet. Man theilt die Grundlinie AB (Taf. XIV, Fig. 2) dieses Rechtecks in eine Anzahl gleicher Theile und trägt diese Theile auch in die Seite AD ein, so daß das ganze Rechteck in lauter kleine Quadrate zerlegt wird. Sollte ein Theil auf AB nicht gerade in AD aufgehen, was meistentheils der Fall sein wird, so setzt man noch ein kleines Stückchen an AD hinzu oder läßt ein solches hinweg.

Nun zieht man eine Linie Pm (Taf. XIV, Fig. 3) und setzt auf sie in P die Augenhöhe PO rechtwinkelig

auf, welche Augenhöhe nichts anderes ist, als der Perpendikel OP (Taf. XIV, Fig. 3) von dem Loche O auf das Blatt A B. Alsdann macht man P Q gleich der Entfernung des Auges von der Fläche, auf welcher das regelmäßige Bild in Folge der Augentäuschung gesehen werden soll (in Taf. XIV, Fig. 1 die Linie P Q als Entfernung der Ebenen AC und DE), errichtet in Q ein Perpendikel Q d und nimmt es der Höhe AD des Rechtecks gleich (Taf. XIV, Fig. 1), in welches das regelmäßige Bild eingeschlossen ist. Zugleich trägt man auf Q d die Theile der AD, zieht durch O und d und ebenso durch O und die Theilpunkte der Q d gerade Linien und bemerkt ihre Durchschnitte mit der Linie P m. Hierbei muß bemerkt werden, daß die Höhe des genannten Rechtecks kleiner sein muß, als die Augenhöhe, weil sonst die Linie O D gar nicht mit der Linie P m zusammentreffen würde.

Hierauf nimmt man Q A gleich der halben Grundlinie AB des Rechtecks ABCD und auf der verlängerten Q A die Linie Q B = Q A, zieht durch m z w senkrecht auf Pm und bemerkt die Durchschnitte z und w der zw mit den durch P und A, P und B gezogenen geraden Linien P z, P w: so hat man in der vierseitigen Figur ABwz, das auf die Ebene AB (Taf. XIV, Fig. 1) projicirte Rechteck ABCD (Taf. XIV, Fig. 2).

Ferner theilt man zw in ebenso viel gleiche Theile, als man auf der Grundlinie AB des Rechtecks A B C D genommen und zieht nach den Theilpunkten a, b, c, e u. s. w. von P aus gerade Linien, welche man nur von da an sichtbar zu machen braucht, wo sie die Linie AB schneiden. Durch die Punkte n, o, p, q, r, s, t, u zieht man endlich senkrechte auf P M, so ergiebt sich die Projection des Rechtecks A B C D mit sammt seinen Quadraten.

In die viereckigen Abtheilungen des Vierecks ABwz werden nun die Theile der auf dem Rechteck ABCD befindlichen Figur nach Anleitung des Quadratnetzes eingezeichnet, wodurch man natürlich ein ebenso verzerrtes

Bild erhält, als die projicirten Quadrate verzerrt sind.— Je mehr man Quadrate in das Rechteck ABCD eingezeichnet hat, desto sicherer wird man auch das deformirte Bild entwerfen können.

Andere Arten von Anamorphosen entstehen, wenn man ein Bild auf eine Kegelfläche zeichnet und dabei den Augenort in der verlängerten Axe nimmt. Es ist einleuchtend, daß das Bild sehr verzerrt erscheinen muß, wenn es von einem andern Punkte aus betrachtet wird.

Bei den Cylinderspiegeln liegt das deformirte Bild auf dem horizontalen Boden und erscheint sodann in dem senkrecht stehenden Spiegel aufrecht. Es wird so verzeichnet.

Vor allem kommt es darauf an, eine Figur SFGT (Taf. XVI, Fig. 4) zu entwerfen, welche im cylindrischen Spiegel als ein regelmäßig gegittertes Quadrat erscheint. Zu dem Ende zeichnet man einen Kreis CHBV, welcher der Grundfläche des Cylinders gleich ist und merkt den Punkt O, wo das vom Auge auf den horizontalen Boden gefällte Perpendikel trifft. Zieht man nun von O aus Tangenten OS, OT an den Kreis, so werden die Strahlen, die von S und T in der Richtung dieser Tangenten ausgehen, gar nicht in ihrer Richtung verändert, weil der Einfallswinkel = 90° wird. Aus dem Raume SCBT kann aber kein Strahl mehr in das Auge gelangen.

Man verbinde die Berührungspunkte C und B durch eine gerade Linie CB und theile dieselbe in beliebig viel gleiche Theile, in 1, 2, 3. Zieht man von O aus nach 1 die O1, so kann diese Linie als ein Strahl betrachtet werden, und man kann den reflectirten Strahl LF leicht finden, indem man das Einfallsloth KL (aus dem Mittelpunkte des Kreises CHBV) zieht und man nun den Winkel FLA = OLA macht. Auf gleiche Weise findet sich die Richtung IG, welche der von O nach 3 gehende uud in 1 auf den Spiegel fallende Strahl nach der Reflexion hat. Der Strahl OH geht durch die Mitte CB, steht also senkrecht auf dem Spiegel und

wird in sich selbst zurückgeworfen. Hat man die Linie CB in mehr als vier Theile getheilt, so erhält man auch mehr solche Linien, wie LF, nämlich das Quadrat wird in mehr kleinere Quadrate zerlegt.

Nun macht man einen rechten Winkel MNP (Tafel XIV, Fig. 5) und MP = der Höhe des Auges über dem Boden, MQ = OH, setzt QR senkrecht auf MN und macht QR = CB (Taf. XIV, Fig. 4). Dann theilt man die QR in ebenso viel gleiche Theile, als CB, zieht durch R und die Theilpunkte c, b, a von P aus die Linien PN, PIII, PII, PI und macht CI = QI = BI = II = LI, CII = QII = BII = III = LII, CIII = QIII = BIII = I III = LIII und endlich CS = QN = BT = IG = LF, so erhält man die Punkte I, II, III u. s. w. (Fig. 4), welche die Durchschnittspunkte zweier Linien im Quadratgitter vorstellen.

Nun verbindet man alle correspondirenden Punkte, wie die Punkte I, II u. s. w. durch krumme Linien, oder da eine sehr genaue Zeichnung, welche die Theilung der Linie CB in sehr viele Theile erfordern würde, nicht nöthig ist, so beschreibt man durch je drei correspondirende Punkte, z. B. durch II, IIa und IIb und durch IIa, IIb, IIc Kreisbögen und erhält das verzerrte Quadratgitter mit den vier Gittern SFLC, FLHO, OHIG, GIBT.

Wenn nun auf der Grundfläche CHBV ein senkrechter Cylinderspiegel steht, so wird sich in diesem die Figur SFGT als ein regelmäßiges Quadratgitter von der Breite CB abbilden, und der Ort, in welchem das Auge stehen muß, liegt senkrecht über O in der Höhe MP.

Wenn man nun ein Quadrat, das eben so viele Gitter hat, als (Fig. 4), eine regelmäßige Figur zeichnet und deren Theile in das entsprechende Gitter der Fig. 4 trägt, so erhält man eine ungemein verzerrte Figur, die im Spiegel regelmäßig erscheint. Es versteht sich, daß, wenn gehörige Genauigkeit verlangt wird, Fig. 4 in mehr als vier Gitter getheilt sein muß.

Bei den Anamorphosen für Kegelspiegel liegt das verzerrte Bild ebenfalls auf einer horizontalen Kreisfläche, in deren Mitte sich der Spiegel senkrecht erhebt, das Auge aber steht in der verlängerten Axe des Kegels über dessen Spitze. Hier bildet sich also die ganze um den Spiegel liegende Ebene im Spiegel ab und erscheint dem Auge, das am besten durch ein kleines Loch hindurch sieht, ungefähr von der Größe der Grundfläche des Spiegels. Darnach ergiebt sich folgende Regel zur Verzeichnung des deformirten Bildes.

Man beschreibe einen Kreis a b c d e f (Taf XV, Fig. 2), welcher der Grundfläche des Kegelspiegels gleich ist, und nachdem man sowohl dessen Peripherie in a, b, c u. s. w. als auch den Halbmesser O b in 1, 2, 3 in beliebig viel gleichgroße Theile getheilt, beschreibe man aus dem Mittelpunkte O mit den Halbmessern O 1, O 2, O 3, O 4 u. s. w. concentrische Kreise, so daß die Grundfläche des Kegels in Theile zerlegt wird, wie sie die Figur zeigt. In den Kreis a b c d e f wird eine Figur eingezeichnet und jene Linien und Kreise bilden das Netz.

Hierauf zeichnet man ein rechtwinkeliges Dreieck A Q E (Taf. XV, Fig. 3), in welchem die Kathete Q E dem Halbmesser O b der Grundfläche, die Kathete Q A der Höhe des Kegels gleich ist. Man theilt dann Q E in eben so viel Theile, als O b, verlängert Q A, bis Q B der Höhe des Auges über der Zeichnung gleich wird, zieht die Linien B 1, B 2, B 3 und bemerkt die Durchschnitte C, D, G mit A E. Dan macht man den Winkel I A E = E A O, II C E = 1 C E, III D E = 2 D E, IV G E = 3 G E, wodurch sich in der verlängerten Q E die Durchschnitte I, II, III, IV ergeben.

Endlich verlängert man die Halbmesser O a, O b u. s. w. und beschreibt aus O mit Q IV, Q III, Q II, Q I concentrische Kreise, wodurch sich das Netz für die verzerrte Figur ergiebt.

Was nämlich in (Fig. 2) auf dem Kreise I sich befindet, wird mittels eines Spiegels, wenn das Auge

die rechte Stellung hat, in O gesehen und fällt daher in einen Punkt zusammen. Die Gegenstände auf dem Kreise II werden auf 1, die auf III auf 2, die auf IV auf 3 gesehen. Darnach kann man leicht nach Anleitung der beiden Netze die verzerrte Figur entwerfen.

§. 37. Construction der Anamorphosen nach Emsmann.

In neuerer Zeit hat Emsmann in Stettin sich mit der Construction der Anamorphosen und Kegelspiegel beschäftigt und mehrere Aufsätze darüber bekannt gemacht. Indem wir den in Poggendorff's Annalen Band 85 gegebenen hier übergehen, da die Theorie für viele Künstler nicht populär genug, lassen wir den aus dem 77ten Bande folgen:

1. Soll die Zeichnung einer Anamorphose für einen geraden Kegel möglichst einfach werden, so muß dem Auge seine Stellung in einem Punkte der über die Spitze hinaus verlängerten Axe angewiesen werden, welcher von der Grundfläche des Kegels um die doppelte Höhe des Kegels entfernt ist.

2. Zieht man durch den Punkt des Bildes, für welchen die Stelle in der zu entwerfenden Anamorphose ermittelt werden soll, den Halbmesser, verlängert denselben über die Peripherie der Grundfläche des Kegels, und bezeichnet mit e die Entfernung des Punktes im Bilde und mit E die der zugehörigen Stelle in der Anamorphose, beide von der Peripherie an gerechnet, ist ferner R der Radius der Grundfläche des Kegels und bezeichnet h das Verhältniß der Höhe des Kegels zu dem Radius seiner Grundfläche, so ist (die unter 1. gestellte Bedingung vorausgesetzt)

$$E : e = (h^2 + 1) R : (h^2 R - e),$$

eine Proportion, welche für ein gegebenes h durch eine einfache Construction darstellbar ist.

Die Ableitung dieser beiden Resultate ergiebt sich in folgender Weise:

Ist A (Taf. XIV, Fig. 6) der in die Amorphose einzutragende Punkt des Bildes, so ziehe man den zu diesem Punkte zugehörigen Radius C B, errichte in C eine auf C B senkrechte Linie, mache C D = der Höhe des Kegels und setze in deren Verlängerung in den Punkt E den Ort des Auges, ziehe E A und lege an den Punkt H, wo diese D B schneidet, den Winkel G H B = B H A = D H E an, so ist der Durchschnittspunkt a des Strahles H G mit dem Radius C B der Punkt der Anamorphose, dessen Bild sich dem Auge darstellt. So die Construction im Gehler'schen Wörterbuche.

Nun seien $Ba = E$, $BA = e$, $BC = R$, $CD = H$, $CE = O$, $BD = S$, und $AE = L$, dann ist:

$$E : aH = \sin. (A - B) : \sin. B \text{ und}$$
$$aH : (E + e) = \sin. A : \sin. 2 (A - B)$$

$$E : (E + e) = \sin. A : 2 \sin. B \cdot \cos. (A - B)$$
$$= \sin. A : 2 \sin. B (\cos. A \cdot \cos. B + \sin. A \cdot \sin. B$$
$$= \frac{o}{L} : 2 \frac{H}{S} \left[\frac{(R - e) \cdot R}{L \cdot S} + \frac{o \cdot H}{L \cdot S}\right]$$
$$= O \cdot S^2 : 2 H (R^2 - e \cdot R + O \cdot H),$$

folglich:

$$E : e = O \cdot S^2 : (2 H \cdot R^2 - 2 H \cdot e \cdot R + 2 \cdot O \cdot H^2 - O \cdot S^2)$$
$$= (O \cdot H^2 + O \cdot R^2) \cdot (2 H \cdot R^2 - 2 H \cdot eR + O \cdot H^2 - O \cdot R^2).$$

Setzt man nun $O = o \cdot R$ und $H = h \cdot R$, so erhält man:

$$E : e = o (h^2 + 1) R : [(2 h + o \cdot h^2 - o) R - 2 h \cdot e].$$

Fragt man, unter welchen Bedingungen das zweite Verhältniß dieser Proportion möglichst einfach werde, so ergiebt sich sofort, daß $o = 2 h$ sein müsse, d. h. der günstigste Fall für die Construction obiger Proportion und somit auch der Anamorphose ist der, daß das Auge seine Stelle in einem Punkte der über die Spitze verlängerten Axe des Kegels einnimmt, welcher von der

Grundfläche um die doppelte Kegelhöhe entfernt ist (1); dann aber geht die obige Proportion über in

$$E : e = (h^2 + 1) R : (h^2 R - e). \quad (2.)$$

Die Construction dieser Proportion ist für ein gegebenes h unter allen Umständen leicht auszuführen; wollte man indessen den allereinfachsten Fall haben, so müßte $h = 1$ d. h. die Höhe des Kegels gleich dem Halbmesser der Grundfläche sein. Die Proportion ginge alsdann über in:

$$E : e = 2R : (R - e)$$

und man erhielte mithin die dem Punkte A entsprechende Stelle in der Anamorphose, wenn man Taf. XIV, Fig. 7 in A und B auf CB Perpendikel errichtete, jenes $AM = R - e$ also $= AC$, dieses $BN = 2R$ machte, den Endpunkt des ersteren mit B verbände und durch den Endpunkt des zweiten mit dieser Verbindungsstrecke BM eine Parallele Na zöge, deren Durchschnittspunkt a mit dem verlängerten Halbmesser die gesuchte Stelle sein würde.

Für andere Werthe von h, z. B. für $h = 2$, also

$$E : e = 5R : (4R - e)$$

würde die Construction in ganz ähnlicher Weise ausfallen. Schließlich wollen wir noch bemerken, daß die Construction weniger bequem wird, wenn man die Entfernungen der Punkte A und a von dem Mittelpunkte der Grundfläche an rechnet. Setzt man $Ca = E = E + R$ und $Ca = e' = R - e$, so geht obige Proportion (2) über in

$$E' : (2R - e') = h^2 R : [(h^2 - 1) R + e]$$

woraus für $h = 1$ sich

$$E' : (2R - e') = R : e'$$

ergiebt.

Noch bemerken wir, daß es gut sein möchte, bei einer Construction der Anamorphose nach der sich hier ergebenden Weise die Höhe des Kegels nahe 4 Zoll zu wählen, um dadurch das im Kegel sich zeigende Bild in der Entfernung des deutlichen Sehens zu erhalten.

Drittes Kapitel.

Von der Dioptrik oder von den Gesetzen der Brechung der Lichtstrahlen.

---

§. 38. Construction der Brechung. — Einfalls- und Brechungswinkel.

Wenn ein Lichtstrahl AE (Taf. VII, Fig. 2) bei E aus einem dünnern Medium in ein dichteres, z. B. aus Luft in Glas oder Wasser tritt, so geht er nicht in derselben Richtung von E nach C fort, sondern er wird bei E gebrochen, und nimmt die Richtung ED an, welche er auch in dem andern durchsichtigen Mittel beständig beibehält, wenn dieses nicht etwa an verschiedenen Stellen verschiedene Dichtigkeit besitzt. Für diese Brechung gelten nun folgende Gesetze:

1) Errichtet man auf der brechenden Fläche MN in dem Punkte E, wo der Strahl AE eintrifft, ein Loth BE (das Einfallsloth), so liegen der einfallende Strahl AE, der gebrochene ED und das Einfallsloth immer in derselben Ebene. 2) Geht der Strahl AE aus einem

dünnern Medium in ein dichteres über, so wird er nach dem Einfallsloth BF zu gebrochen, nämlich so, daß der Winkel DEF, den der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe macht, kleiner ist, als der Winkel AEB oder CEF, den der einfallende Strahl mit eben dem Lothe bildet. Man nennt den Winkel AEB den Einfallswinkel, DEF den Refractionswinkel oder Brechungswinkel. — Geht der Lichtstrahl aus einem dichten Medium in ein dünnes über, z. B. aus Glas oder Wasser in Luft, so tritt der umgekehrte Fall ein, er wird nämlich vom Einfallslothe abgebrochen.

Wenn der Strahl AE bei E aus Luft in Glas übergeht und hernach die Richtung ED annimmt, so nimmt auch umgekehrt der Strahl ED, wenn er bei E aus Glas in Luft tritt, die Richtung EA an.

3) Der Sinus des Einfallswinkels AEB hat zum Sinus des Brechungswinkels DEF immer dasselbe Verhältniß bei dem brechenden Mittel, so daß die Größe des Einfallswinkels auf dieses Verhältniß gar keinen Einfluß hat. Man beschreibe nämlich mit einem beliebigen Halbmesser aus E in der Ebene des einfallenden und gebrochenen Strahles einen Kreis und fälle auf BF die Perpendikel HK oder im und pq, so ist HK = im der Sinus des Einfalls-, pq der Sinus des Brechungswinkels und das Verhältniß im : pq bleibt für alle Einfallswinkel dasselbe. Das Verhältniß dieses Sinus für den Fall, daß der Strahl aus Luft in einen dünnen oder dichteren Körper übergeht, nennt man das Brechungsverhältniß dieses Körpers. Für gewöhnliches Glas ist das Brechungsverhältniß etwa 1,5 = $\frac{3}{2}$, für Wasser = $\frac{4}{3}$ und die Bedeutung dieser Zahl ist folgende: Wenn ein Strahl AE aus Luft bei E, z. B. in Glas übergeht, so verhält sich pq : im = 1 : 1,5 oder 2 : 3, nämlich der Sinus im oder HK des Einfallswinkels ist $\frac{3}{2}$ = 1,5 mal größer, als der Sinus pq.

Darnach läßt sich also die Richtung ED des gebrochenen Strahls leicht zeichnen. Man beschreibe nämlich mit beliebigem Halbmesser aus dem Einfallspunkte E in

der durch den einfallenden Strahl AE und durch das Einfallsloth BE gehenden Ebene einen Kreis, fälle das Perpendikel HK und mache Et (welche Linie senkrecht auf BF steht) $= \frac{HK}{1,5}$, nämlich = HK dividirt durch das Brechungsverhältniß. Zieht man nun tp mit BF parallel, wodurch man den Durchschnitt p erhält, und zieht Ep, so ist Ep die Richtung des gebrochenen Strahls. Ueberhaupt muß man den gebrochenen Winkel DEF so groß nehmen, daß sein Sinus dem durch das Brechungsverhältniß dividirten Sinus des Einfallswinkels gleich ist. — Wenn umgekehrt ein Strahl DE aus Glas in Luft tritt, so findet man die Richtung EA, in welcher der Strahl in der Luft fortgeht, wenn man den Brechungswinkel KEH so nimmt, daß sein Sinus dem mit dem Brechungsverhältniß multiplicirten Sinus des Einfallswinkels DEF gleich ist, nämlich $HK = pq \times 1,5$. Fällt ein Lichtstrahl mit dem Einfallslothe zusammen, so wird er gar nicht gebrochen. Um das Brechungsgesetz experimentell nachzuweisen, kann man sich des folgenden Apparates bedienen:

Man nimmt einen 2 bis 3 Zoll hohen, halbkreisförmig gebogenen Messingstreifen, den man auf der innern Seite genau in Grade theilt, und schließt den Streifen durch eine 2 bis 3 Zoll hohe ebene Glasplatte, die man bis einen etwa ½ oder 1 Linie breiten Längsspalt schwarz anstreicht. Am bequemsten ist es, wenn man den Spalt dem Nullpunkte der Theilung gegenüber anbringt. Gießt man in das nunmehr auch mit einem beliebigen Boden aus Holz oder Glas zu versehende Gefäß bis zu einer beliebigen Höhe Wasser, begiebt sich in einen dunkeln Raum und hält ein Kerzenlicht schräge vor den Spalt, so wird man sich überzeugen, daß die Lichtstrahlen, die über der Oberfläche des Wassers die Kreistheilung treffen, eine andere Stelle als die, welche durch das Wasser gehen, erhellen. So wird z. B. das obere Strahlenbündel den Theilpunkt 60°, das untere

8*

den von 40°, das obere 30°, das untere 22°, das obere immer geradlinigt fortgepflanzte Licht 15°, das durch das Wasser gehende, also abgepreßte $11\frac{1}{4}$° u. s. w. erhellen.

§. 39. Das Brechungsgesetz von Snellius.

Das Brechungsgesetz, das vom niederländischen Gelehrten Snellius entdeckt, von Cartesius aber zuerst bekannt gemacht wurde, läßt sich so viel in der allgemeinen Form aussprechen:

$$\frac{\sin. i}{\sin. r} = n,$$

wenn i den Einfallswinkel, r den Brechungswinkel und n den Brechungsexponenten bezeichnen. Wir sehen natürlich daraus, daß der Brechungsexponent der Quotient, die Zahl ist, welche angiebt, wie vielmal für bestimmte Substanzen der Sinus des Einfallswinkels größer als der des Brechungswinkels ist. — Man ersieht auch aus der vorstehenden Gleichung, daß, wenn $n > 1$, auch $\sin. i > \sin. r$ und somit auch $i > r$ ist, d. h. durch Brechung wird der Strahl dem Einfallslothe genähert und das zweite Medium ist dann stärker brechend, als das erste, während umgekehrt, wenn $n < 1$ auch $i < r$ ist, und der gebrochene Strahl sich vom Einfallslothe entfernt, also das zweite Medium das schwächer brechende ist. Es enthält also die Gleichung beide vorhin ausgesprochene Brechungsgesetze. Es mögen hier noch einige Brechungsexponenten folgen:

Aether	1,358
Alkohol	1,372
Balsam Canada .	1,532
Bergkrystall . . .	1,562
Diamant . . .	2,470
Eis	1,310
Glas, gemeines .	1,496
Flintglas,	
1 Blei 4 Kiesel	1,664

Schwefelkohlenstoff		1,680
Steinsalz	. . .	1,498
Terpentinöl	. .	1,476
Weingeist	. . .	1,374
Wasser	. . . .	1,336.

§. 40. Spiegelung durch Brechung.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem dichteren Medium in ein dünneres geht, so kann es kommen, daß die Brechung ganz unmöglich und dann eine Spiegelung wird. (Fig. 3, Taf. VII.) Es sei z. B. MNLK ein Glaskörper, der bei MN mit einer ebenen Fläche begrenzt ist, und AE ein bei E in die Luft tretender Strahl. Zieht man nun durch E das Loth BF, so ist AEF der Einfallswinkel, welchen wir so groß setzen wollen, daß sein Sinus 0,8 (des Halbmessers) beträgt. Wenn daher das Brechungsverhältniß $= \frac{3}{2}$ ist, so müßte der Brechungswinkel BEG so groß sein, daß sein Sinus $= 0{,}8 \times \frac{3}{2} = 1{,}2$ (des Halbmessers) würde, was nicht möglich ist, da kein Sinus größer sein kann, als der Halbmesser. In diesem Falle kann der Strahl AE bei E gar nicht das Glas verlassen, sondern er wird von der Ebene wie von einem Spiegel ganz nach den Gesetzen der Spiegelung in die Richtung ED reflectirt, so daß der Winkel AEF = FED wird. Bei dieser Reflexion wird dem Lichtstrahle gar nichts von seiner Intensität genommen.

Besser läßt sich das Gesagte auch einsehen, wenn man die Grenzwerthe der oben besprochenen Gleichung

$$\frac{\sin. i}{\sin. r} = n,$$

d. h. $i = 0^0$ und $i = 90^0$ gesetzt untersucht. Man findet für $i = 0^0$ auch $r = 0^0$,
also geht der Strahl, ohne eine Ablenkung erfahren zu haben, fort. Für $i = 90^0$ ist $\sin. i = 1$, also

$$\frac{1}{\sin. r} n \text{ und } \sin. r = \frac{1}{n}.$$

Für Luft und Wasser ist $n = \frac{4}{3}$, also $\frac{1}{n} = \frac{3}{4} = 0{,}75 = \sin. 48^0\ 35'$. Dieses ist der Grenzwinkel zwischen diesen Medien, und alle in Wasser fortgepflanzten Lichtbündel, die mit dem Einfallslothe einen größeren Winkel machen, können nicht heraustreten, sondern werden an der Grenzfläche des Wassers vollständig gespiegelt. Ein einfaches Experiment veranschaulicht das Gesagte: Man tauche, z. B., ein Reagentienglas schräge in ein mit Wasser gefülltes Glas und sehe von oben durch die Wasserfläche auf das Glas, so wird es wie mit Quecksilber gefüllt erscheinen, weil ein Theil der schräge auf die Glaswand fallenden Lichtstrahlen das Reagentiengläschen unter einem solchen Winkel treffen, daß sie nicht in die darin enthaltene Luft austreten können, also vollständig gespiegelt werden.

Die bisher besprochene Brechung ist die gewöhnliche oder einfache, weil der Lichtstrahl nach der Brechung noch einfach bleibt und nicht, wie bei der doppelten Brechung des isländischen Doppelspaths und anderer Krystalle, gleichsam gespalten wird, so daß die hindurchgesehenen Objecte doppelt erscheinen.

Zu bemerken wäre etwa noch, daß bei der Brechung allemal das Licht einen Theil der Intensität verliert, indem die brechende Oberfläche zugleich auch einen Theil des Lichts reflectirt und das brechende Mittel selbst etwas vom durchgehenden Lichte verschluckt oder zerstreut. Eine durchsichtige Glasplatte spiegelt zweimal, an der Vorderfläche und dann wieder an der Hinterfläche, doch ist bei der Brechung der Lichtverlust bei weitem nicht so groß, als bei der Spiegelung, denn beim Durchgange des Lichts durch eine nicht allzustarke Glasplatte ist der Verlust etwa nur 0,08 des auffallenden Lichts.

§. 41. Brechungsphänomene.

In der Natur giebt es viele Erscheinungen, welche in der Brechung der Lichtstrahlen ihren Grund haben, und es bedarf keiner künstlichen Vorrichtungen, sich von der Art und Weise, wie die Brechung wirkt, hinlängliche Klarheit zu verschaffen. Man tauche nur einen geraden Stab zum Theil ins Wasser, so wird er da, wo er die Oberfläche des Wassers berührt, geknickt erscheinen, indem die an der Oberfläche des Wassers gebrochenen Strahlen in anderer Richtung ins Auge gelangen, als die, welche bloß durch die Luft gehen. Legt man ein Geldstück in eine Schüssel und tritt von derselben so weit zurück, bis man das Geldstück vor dem Rande der Schüssel nicht mehr sieht, so wird man es alsbald wieder erblicken, wenn man Wasser in die Schüssel gießt; denn alsbald werden die Strahlen, welche von dem Geldstück ausgehen, an der Oberfläche des Wassers von dem auf ihr stehenden Perpendikel weggebrochen und gelangen so in das Auge, während dieses, wenn kein Wasser in der Schüssel ist, nicht möglich ist, indem die Strahlen, welche nahe am Rande der Schüssel herausgehen, schon zu hoch sind, um das Auge zu treffen. Ein gewöhnlicher Apparat physikalischer Kabinette, durch den man die Lichtbrechung zeigt, ist der anaklastische gläserne Würfel, vor welchem auf einem ebenen Brete ein senkrechter Stift steht, der nicht höher ist, als der Würfel. Man beobachtet leicht, wie der Schatten des Stifts, wenn der Würfel dahinter gesetzt wird, sich verkürzt.

Wir wollen noch untersuchen, wie Lichtstrahlen durch ein Glas gebrochen werden, welches auf beiden Seiten von zwei parallelen ebenen Flächen begrenzt ist. Aus einem solchen Glase treten aber die Strahlen in derselben Richtung aus, in welcher sie eintreten, und die Objecte werden daher durch dasselbe ebenso gesehen, als mit freiem Auge, eine geringe Verrückung abgerechnet, die bei einer geringen Dicke des Glases nicht merklich wird.

Es sei MN (Taf. II, Fig. 15) ein senkrechter Durchschnitt eines solchen Glases, AE ein Lichtstrahl und BE das Einfallsloth. Setzt man nun das Brechungsverhältniß n, so ist sin. IEC = sin. $\frac{AEB}{n}$. Bei I findet die zweite Brechung statt, und wenn man das Einfallsloth cI zieht, so ist sin. cID = n • sin. EIb; oder EIb = CEI, folglich auch sin. cID = n • sin. CEI = n sin. $\frac{AEB}{n}$ = sin. AEB und daher cID = AEB, d. h. der eintretende Strahl dem austretenden parallel, woraus die früheren Behauptungen folgen. —

§. 42. Das gläserne Prisma.

Bedeutende Verrückungen der Bilder erhält man, wenn die zwei ebenen brechenden Flächen eines Glasstückes sich unter einem Winkel schneiden, in welchem Falle ein dreiseitiges Prisma entsteht, das uns in Folgendem zu mannichfachen Betrachtungen Veranlassung geben wird.

Es sei ABC (Taf. VII, Fig. 4) ein senkrechter Durchschnitt eines solchen Prisma und AE ein auf die Flächen AB fallender Strahl. Zieht man durch E das Einfallsloth DF, so wird der Strahl nach diesem zu gebrochen und nimmt die Richtung EI an, in welcher er bei I auf die Flächen AC gelangt. Zieht man nun wieder durch I das Einfallsloth KL, so wird der Strahl EI, dessen verlängerte Richtung IM ist, vom Lothe KL abgebrochen und nimmt die Richtung IO an, in welcher man den Gegenstand erblickt, wenn man das Auge in O stellt. Der Gegenstand A° wird nun in A′ gesehen. — Es ist einleuchtend, daß unter allen Umständen beim Prisma nur der Winkel A einen Einfluß auf die Brechung ausübt, indem nur seine Schenkel von dem einfallenden und gebrochenen Strahle getroffen werden. Diesen Winkel nennt man also auch mit Recht den

brechenden Winkel. Daß die Ränder der Objecte in farbigen Strahlen erscheinen, und die Gründe für diese Erscheinung, werden wir später erkennen lernen. — Den Gang eines Lichtstrahles durch ein Rautenglas oder Polyeder sieht man Taf. VII, Fig. 12.

§. 43. Reflexion von Lichtstrahlen in Prismen.

Nicht unwichtig ist es noch, das gleichschenklige rechtwinklige Prisma, bei dem also der eine Winkel 90° ist, die beiden andern aber jeder 45° sind, kennen zu lernen. Es läßt sich dieses Prisma so stellen, daß alle Strahlen, welche auf die Kathetenfläche fallen, von der Hypothenusenfläche nicht durchgelassen werden, sondern reflectirt und durch die andere Kathetenfläche geworfen werden. Es sei ABC (Taf. I, Fig. 10) ein senkrechter Durchschnitt eines solchen Prisma und A der rechte Winkel, B und C jeder 45°, AC und AB die beiden Durchschnitte der Kathetenfläche und BC der Durchschnitt der Hypothenusenfläche. Es falle der Strahl ZE senkrecht auf die Fläche AC, so geht er ungebrochen in das Prisma und trifft die Hypothenusenfläche in D. Zieht man hier das Einfallsloth DK, so ist der Einfallswinkel KDZ = 45° und die 45° = 0,707. Demnach würde, da der Strahl aus Glas in Luft gehen muß, der Sinus des Brechungswinkels $= \frac{3}{2} \cdot 0,707 = 1,06$ werden, wenn das Brechungsverhältniß $= \frac{3}{2}$ gesetzt wird. Da aber dieser Sinus größer als 1 werden würde, nämlich größer als der Radius, so geht, wie vorher gezeigt, die Brechung in Spiegelung über und der Strahl DE wird in der Richtung DF reflectirt, welche die andere Kathetenfläche AB senkrecht trifft, so daß der Strahl abermals ungebrochen aus dem Prisma heraustritt. Ein Auge also, das sich in o befindet, wird den Gegenstand Z in z erblicken. Wenn der Strahl ZE gegen die Kathetenfläche eine kleine Neigung hat, so findet freilich an

beiden Kathetenflächen eine kleine Brechung statt, allein sie ist der Art, daß sich die Brechungen dieser beiden Flächen aufheben und so wirken, wie ein plan-paralleles Glas. Es fallen also dann auch die farbigen Ränder fort. Man wendet Prismen dieser Art bei der Camera obscura an, wenn man dem verkehrten Bilde, welches das Objectivglas hervorbringt, wieder die aufrechte Stellung geben will. Es wird dabei der rechte Winkel nach unten gelegt (Taf. VIII, Fig. 9). Ist nun ZE ein Object und ZD ein vom Punkte Z kommender Strahl; dieser wird von der Kathetenfläche AB nach der Hypothenusenfläche hin gebrochen, von dieser in H nach der andern Kathetenfläche M reflectirt, welcher ihn zum zweiten Male in die Richtung Fz bricht, die mit ZD parallel ist. Von E lasse man den Strahl EI mit ZD parallel auf die Fläche AB fallen, so wird er in die Richtung IK gebrochen, die mit DG parallel ist, und auf gleiche Weise ist der reflectirte Strahl KL mit GF, der zum zweiten Male gebrochene Le mit Fz parallel. Die Strahlen ZD und EI haben also nach der zweiten Brechung ihre Lage umgekehrt, woraus folgt, daß auch das Bild von Ze in ze umgekehrt erscheinen muß. —

Geht ein Lichtstrahl so durch ein Prisma, daß er mit den beiden Flächen gleiche Winkel macht, so ist die Totalablenkung, welche der Strahl durch das Prisma erleidet, kleiner als bei jeder andern Lage des gebrochenen Strahles.

Will man Erscheinungen in Prismen von Flüssigkeiten beobachten, so wendet man dazu Hohlprismen an, die man in der Regel so am besten construirt, daß man ein dreiseitiges Glasgefäß von etwas dicken Wänden — oben etwas verengt, wie eine Flasche und mit einem Stöpsel versehen — anfertigt und dann zwei Seiten wegschleift. Es werden dann zwei ebene, gut geschliffene Glasplatten aufgekittet und zwar mit einer Substanz, die von der einzufüllenden Flüssigkeit nicht gelöst wird, z. B. mit Hausenblase, wenn Schwefelkohlenstoff,

mit Siegellack, wenn Wasser untersucht werden soll u. s. w. Man gießt nun die Flüssigkeit durch die verengte obere Oeffnung und kittet auch den Stöpsel fest; dann kann man die zu untersuchende Substanz lange aufbewahren. — Ehe wir nun zur praktischen Anwendung der Flüssigkeitsprismen übergehen, haben wir, des Verständnisses wegen, noch folgende Begriffe zu definiren:

§. 44. Die brechende Kraft und das Brechungsvermögen.

Man nennt die brechende Kraft das um die Einheit verminderte Quadrat des Brechungsexponenten, also den Werth $n^2 - 1$, das Brechungsvermögen jedoch den Quotienten, den man erhält, wenn man die brechende Kraft eines Körpers durch seine Dichtigkeit dividirt, also $\frac{n^2 - 1}{d}$.

Diese Definitionen sind nicht ganz willkürlich, wie es wohl auf den ersten Blick scheinen möchte. Die brechende Kraft ist nach der Emissionstheorie der Zuwachs, den das Quadrat der Geschwindigkeit des Lichtes beim Uebergange aus den leeren Räumen in einen brechenden Körper erleidet; denn nach dieser Theorie nimmt die Geschwindigkeit des Lichtes beim Uebergange in stärker brechende Mittel zu.

Man kann die brechende Kraft eines Körpers auf absolute und relative Weise bestimmen; so sind z. B. 1,326 und 0,785 die absoluten brechenden Kräfte oder die Werthe $n^2 - 1$ für Glas und Wasser: dividirt man aber die erste Zahl durch die zweite, so erhält man 1,690, welches die relative brechende Kraft des Glases zu der des Wassers ist.

Das Brechungsvermögen, also $\frac{n^2 - 1}{d}$, ist für Glas 0,533, für Wasser 0,785. Das Brechungsvermö-

gen des Glases, auf das des Wassers bezogen, ist aber $\frac{0,533}{0,785} = 0,679.$

§. 45. Die optisch aräometrische Bierprobe von Steinheil.

Die vorhin erwähnten Flüssigkeitsprismen finden eine praktische Anwendung in der optisch aräometrischen Probe von Steinheil, die auf die Beobachtung zweier Eigenschaften des Bieres basirt, nämlich auf die seines specifischen Gewichtes vermittelst des Aräometers und seines Lichtbrechungsvermögens, das durch einen besondern optischen Apparat bestimmt wird. Da diese Steinheil'sche Methode sich vielfach bewährt hat und jetzt allgemein eingeführt ist und häufig vorkommt, so lassen wir eine von dem bewährten Gelehrten und Künstler selbst gegebene Beschreibung folgen, indem wir zur Erläuterung die Zeichnung (Taf. IX, Fig. 1 — 10) hinzufügen, in der A das cylindrische Gefäß, welches durch drei eingesetzte Plangläser zwei Flüssigkeitsprismen bildet, welche gleiche, aber entgegengesetzt liegende Brechungswinkel haben. In das eine dieser prismatischen Gefäße b kommt destillirtes Wasser, in das andere a das zu untersuchende Bier. B ist das Mikroskop, durch welches man nach einem Metallfaden x sieht, der als Gegenstand zum Einstellen für die im Ocular des Mikroskopes B feststehenden Kreuzfäden e dient. Die Verstellung der Metallfäden x wird durch die Mikrometerschraube c, deren Kopf am Umfange in 100 gleiche Theile getheilt ist, bewirkt. A ist eine Stahlfeder, die in Fig. 8 und Fig. 9 gegen die Schraube drückt. Fig. 8 ist der Boden des cylindrischen Gefäßes A. Der geränderte Schraubendeckel n dient zum Schließen des Gefäßes, in welches destillirtes Wasser kommt. — Fig. 6 zeigt die Lage der Prismen in dem Behälter A, ebenso

ist durch Fig. 7 die Prismenlage bestimmt, nachdem das Prisma fortgenommen ist.

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus 2 von Parallelgläsern gebildeten Flüssigkeitsprismen, deren brechende Winkel gleich sind, aber eine entgegengesetzte Lage haben. Wird in beide Prismen dieselbe Flüssigkeit, z. B. Wasser gegossen, so bilden die beiden Prismen zusammen einen Körper, welcher sich optisch wie ein dickes Parallelglas verhält. Es erscheint nämlich ein Object, das in der Normale der einen Brechungsfläche liegt, von der Normale der andern äußeren Brechungsfläche aus betrachtet, in derselben Richtung, als wenn zwischen Object und Auge sich kein Parallelglas befinde.

Um die Richtung des Objects zu fixiren, ist auf dem Mikrometerschuber des Instrumentes, parallel zur Kante der Prismen, ein feiner Metallfaden befestigt; um die Richtung des Auges constant zu erhalten, ist auf der dem Mikrometerschuber entgegengesetzten Seite der Prismen ein Mikroskop angebracht. Die Axe des Mikroskopes fällt mit der Normale der äußeren Brechungsflächen der Prismen zusammen, und ihre Verlängerung trifft auf den feinen Metallfaden.

Wenn der Metallfaden im Mikroskop deutlich gesehen werden soll, so muß, in beiden Prismen dieselbe Flüssigkeit vorausgesetzt, das Objectiv des Mikroskopes diejenige Lage erhalten, bei welcher das Bild des Metallfadens in derselben Ebene mit dem Fadenkreuze des Oculars liegt.

Man schraubt daher zuerst die Ocularlinse so weit heraus, daß das Fadenkreuz des Oculars vollkommen scharf begrenzt erscheint, wenn man mit der Probe gegen den hellen Himmel oder gegen eine Lichtflamme sieht. Nun werden die Schrauben, an welchen das Objectiv des Mikroskopes, in des letztern Axe, verschoben werden kann, etwas gelöst und das Objectiv entweder gegen das Auge her, oder von demselben hinweg geschoben, bis auch das Bild des Metallfadens deutlich im Gesichtsfelde erscheint. Das Bild des Metallfadens wird

jetzt nicht genau das Fadenkreuz des Oculars halbiren, sondern nach der einen oder andern Seite liegen. Durch Drehen der Mikrometerschraube kann aber der Metallfaden seitlich geschoben werden, und man dreht daher, indem man durch das Mikroskop sieht, bis der Metallfaden das Fadenkreuz halbirt. Allein eine Halbirung der Wechselwinkel, welche die Kreuzfäden bilden, läßt sich nur dadurch erzielen, daß das Mikroskop oder das Ocular um seine Axe gedreht wird, während die Prismen und also auch der Metallfaden dieselbe Lage behalten. Da das Bild des Metallfadens durch die vergrößernde Wirkung des Mikroskopes von bedeutendem Durchmesser erscheint, so läßt sich seine Halbirung durch das Fadenkreuz direct nicht sicher schätzen. Wenn man aber beachtet, daß die Kreuzfäden mit beiden Seiten des Objectivfadens scharfe Winkel bilden, die, gegen den Himmel betrachtet, licht erscheinen, während die Fäden dunkel sind, so können diese Lichtwinkel in der untern Hälfte des Gesichtsfeldes durch die Mikrometerschraube symmetrisch gegen den Metallfaden und so gelegt werden, daß ihre Spitzen in gleicher Höhe stehen, oder daß eine gerade Linie durch die Spitzen der Lichtwinkel gelegt, zugleich senkrecht auf den Rändern des Metallfadens steht. Wäre der Winkel der Kreuzfäden durch den Metallfaden in dieser Lage nicht genau halbirt, so würden die ähnlichen Lichtwinkel der obern Hälfte des Gesichtsfeldes nicht gleichzeitig auch in gleicher Höhe stehen, wenn die untern in gleicher Höhe sich befinden. Man hat daher an dem Ocular oder an dem Mikroskopkörper gegen die Prismen so lange drehend zu verstellen, bis die obern Lichtwinkel und die untern Lichtwinkel gleichzeitig in gleicher Höhe erscheinen.

Sieht man durch das Instrument jetzt gegen eine schmale Lichtquelle — etwa ein Licht oder eine schmale senkrechte Oeffnung des Fensterladens — und dreht dabei das Instrument langsam nach der einen oder der andern Seite von der größten Helligkeit aus, so wird man bemerken, daß die zwei untern Lichtwinkel nicht ge-

nau in gleicher Höhe bleiben. Diese Erscheinung, die sogenannte Parallaxe, rührt daher, daß das Bild der Ränder des Metallfadens nicht genau in derselben Ebene mit den Kreuzfäden des Oculars liegt. Es muß daher das Objectiv noch so viel verstellt werden, bis diese Veränderlichkeit der Höhe der Lichtwinkel ganz verschwindet, man mag links oder rechts von der Lichtquelle abgehen. Es läßt sich dies sehr leicht erreichen durch kleine Schläge an dem Kopfe der Schrauben, welche das Objectiv festhalten und die in der Richtung gegeben werden, in welcher das Objectiv um Kleinigkeiten verstellt werden soll. Hat man die richtige Lage erzielt, so werden die schon früher gelösten Schrauben nun fest angezogen und damit das Objectiv in dieser Stellung fixirt. Sollten sich kurz- und weitsichtige Beobachter desselben Instrumentes bedienen, so stellt Jeder nur die Ocularlinse durch Verschrauben nach seinem Auge, ohne dadurch an der Berichtigung etwas zu ändern.

In der soeben beschriebenen Lage der untern Lichtwinkel gegen den Metallfaden soll nun, wenn Wasser in beiden prismatischen Gefäßen ist, der Trommelkopf der Mikrometerschraube genau auf Null zeigen, wenn die Theilung an dem Index abgelesen wird, welcher in prismatischer Form und parallel zur Mikrometerschraube vom Gefäßwürfel bis über die Trommel reicht. Wäre dieß nicht der Fall, so würde man mit der einen Hand den doppelt rändrirten Rand der Mikrometerschraube festhalten, während man mit der andern Hand die Trommel mit der Theilung drehte, bis der Nullpunkt der Theilung mit dem Index zusammentrifft. Durch einige successive Versuche wird sich dies mit jeder Genauigkeit erzielen lassen.

Die Trommel zeigt also auf Null, die Fäden haben keine Parallaxe gegen einander, es stehen die untern Lichtwinkel in gleicher Höhe und symmetrisch zu dem Metallfaden, wenn in beiden Prismen destillirtes Wasser von gleicher Temperatur mit der des Instruments ist.

Wird aber nun unter das Wasser des dem Beobachter zugewendeten Prisma, auch nur eine kleine Quantität Alkohol gebracht, welcher das Licht bekanntlich stärker bricht, als Wasser, so erscheint der Metallfaden, nachdem man durch Umrühren Alkohol und Wasser gut gemengt hat, nicht mehr eingestellt auf das Fadenkreuz des Oculars, sondern seitlich gerückt. Er erscheint erst dann vollkommen deutlich, wenn Alkohol und Wasser sich homogen gemengt haben und wenn die Temperaturen ausgeglichen sind, wozu der dicke Metallwürfel, in welchem die Prismen angebracht sind, wesentlich beiträgt.

Es diene daher als allgemeine Regel, die Flüssigkeiten in beiden Prismen jedesmal vor der Beobachtung gut umrühren und dadurch homogen zu machen, weil nur unter dieser Bedingung völlig deutliche Bilder erscheinen.

Der vom Fadenkreuze des Oculars seitlich gerückte Metallfaden kann nun wieder eingestellt werden mit Hülfe der Mikrometerschraube. Dabei dreht man diese so, daß die Zahlen am Index wachsen, in dem Maße, als sich der Metallfaden der normalen Lage gegen das Fadenkreuz nähert. Die Trommel der Mikrometerschraube hat sonach in einer willkürlichen Maßeinheit gemessen, um wieviel das mit Alkohol versetzte Wasser das Licht stärker bricht, als reines Wasser. Wird man nun der alkoholhaltigen Flüssigkeit auch noch einige Tropfen Zuckerlösung beisetzen und mengen, so müßte der Metallfaden abermals, und zwar in derselben Richtung, wie das erstemal, seitlich gerückt erscheinen. Beim Einstellen der Fäden wachsen daher auch in diesem Falle die Zahlenangaben der Mikrometertrommel. Das Instrument mißt somit alle in Wasser gelösten Substanzen, welche ein stärkeres Brechungsvermögen als dieses haben, und es sind die Angaben der Trommel den beigemengten Quantitäten dieser stärker brechenden Stoffe proportional, wenn sie selbst nur einige Procente des Gewichts der Flüssigkeit ausmachen.

Die Verstellung des Metallfadens gegen das Fadenkreuz oder die Trommelangabe für die Einstellung der Fäden ist aber noch ferner abhängig von dem Brechungswinkel der beiden Flüssigkeitsprismen und wächst mit diesem. Es ist daher das Planglas, durch welches die beiden Flüssigkeitsgefäße getrennt werden, um eine Parallele zu den Axen der Prismen drehbar und es hängt der Winkel der Prismen lediglich von dieser Drehung ab.

Dadurch können nun die Angaben der verschiedenen einzelnen Instrumente auf dieselbe Maßeinheit der Trommel gebracht werden. Dazu bedient man sich einer Lösung von reinem Candiszucker in destillirtem Wasser, deren quantitative Zusammensetzung genau bekannt ist.

Hätte man sich demnach eine 12procentige Zuckerlösung gebildet, so würde diese in das dem Mikroskop zunächst liegende Prisma gebracht, und verglichen mit dem im andern Prisma befindlichen destillirten Wasser bei 12,4° R. 114,61 Trommeltheile zeigen, wenn der Winkel der Prismen gehörig berichtigt wäre. Man kann daher die Berichtigung selbst mit Hülfe einer solchen Zuckerlösung durch successive Annäherung vornehmen, wobei jedesmal der Prismenwinkel verkleinert wird, wenn der Versuch in der optischen Probe für die 12procentige Flüssigkeit bei 12,4° R. mehr als 114,61 Trommeltheile gezeigt hat. Wäre die Temperatur, bei welcher der Versuch vorgenommen wurde, um 1° R. höher, also 13,4° R., so müßte sich die Angabe der optischen Probe um 0,252 Trommeltheile vermindert, also auf 114,36 gestellt haben, wenn das Instrument als völlig berichtigt in der Einheit der Angaben angenommen werden soll.

Zur Berichtigung des Instrumentes gehört noch ferner, daß die Mikrometerschraube keinen todten Gang habe, d. h. die Stellung der Trommel muß im Durchschnitt aus zwei Reihen von Einstellungen und Ablesungen gleich werden, wenn in der einen Reihe der Metallfaden immer von der linken Seite her ohne Zurück-

drehen der Schraube eingestellt wurde, in der andern Reihe aber ebenso von der rechten her. Man kann zwar diesen Fehler dadurch unschädlich machen, daß man bei allen Ablesungen stets von derselben Seite her einstellt, allein es ist bequemer, die Berichtigung am Instrumente selbst anzubringen, was dadurch geschieht, daß die Feder stärker gespannt wird, welche den Mikrometerschuber gegen die Mikrometerschraube andrückt. Bei dieser Gelegenheit muß auch sogleich untersucht werden, ob der Schuber für sich leicht geht, oder etwa durch Verdichtung des Oels einen starken Widerstand zeigt. Dieser wäre zu entfernen. Auch muß untersucht werden, ob die Mikrometerschraube in ihrer Schraubenmutter die gehörige Spannung hat, was an einer sanften, gleichförmigen Bewegung der Schraube beim Umdrehen erkannt wird. Die etwa nöthige Aenderung in der Spannung der Mutter wird durch Verstellung der Klemmschraube erzielt.

Auf die Reinigung der drei Plangläser, welche die Flüssigkeitsprismen bilden, ist besondere Aufmerksamkeit zu richten, und es müssen die Gefäße nach jeder Versuchsreihe sorgfältig ausgewaschen und mit Fließpapier gut abgetrocknet werden. Auch ist es nicht gut, das destillirte Wasser tagelang in dem vordern Prismengefäß zu lassen. Die Schraubenspindel der Mikrometerschraube, sowie der Punkt am Schuber, gegen welchen sie drückt, müssen stets eine feine Schichte reinen Oeles haben, und es sind sorgfältig alle Stahltheile, welche etwa beim Versuche benetzt wurden, vor der Aufbewahrung der Probe abzuwischen. Nicht selten kömmt es vor, daß man bei gefüllten Prismen doch kein Bild vom Metallfaden hat, dies liegt dann sicher an einer Luftblase, welche sich an einem der Plangläser vorgelegt hat und die am besten durch einen Haarpinsel beseitigt wird.

Wenn man beim Gebrauch der Probe seitlich gegen die Lichtquelle sieht, so erscheinen die Ränder des Metallfadens farbig. Man hat dann mit dem Instrumente sich im Horizontalkreise zu drehen, bis die Farben ver-

schwinden, weil nur dann ein scharfes Einstellen möglich ist. Besondere Vorsicht ist anzuwenden, daß bei den Versuchen keine Spur von der zu prüfenden Flüssigkeit in das Gefäß mit destillirtem Wasser kömmt, wodurch die Angaben des Instruments unrichtig würden. Es begegnet dieses leicht, wenn man beim Einfüllen übergießt. Man kann sich hierin nicht vollständig auf den Deckel verlassen, welcher für gewöhnlich das Wassergefäß abschließt.

Erst wenn in beiden Prismen dieselbe Temperatur eingetreten ist, sind die Angaben des Instrumentes richtig. Dabei ist es ziemlich gleichgültig, ob diese Temperatur hoch oder niedrig sei. Die in den gewöhnlichen Fällen vorkommenden Temperaturen äußern keinen merklichen Einfluß auf die Angaben des Instrumentes.

Wenn vor dem Eingießen des Bieres Wasser in dem Prisma war, etwa zur Wiederholung der Bestimmung des Nullpunktes, oder wenn man verschiedene Sorten Bier hintereinander prüfen will, so muß jedesmal das Prisma mit dem zu prüfenden Bier einigemal gut ausgespült werden. Dieß ist um so nöthiger, als man hier nur mit ganz kleinen Quantitäten operirt, wo ein fremdartiger Tropfen schon bedeutenden Einfluß hat.

Ist das zu untersuchende Bier mit Berücksichtigung des hier Gesagten in das Instrument gebracht, so faßt man das Mikroskop mit der rechten Hand und führt das Instrument in horizontaler Richtung vor das Auge, indem man gegen die Tageshelle, oder Nachts gegen eine Lichtflamme sieht. Nun faßt man mit der linken Hand (Daumen unten, Zeige- und Mittelfinger oben) den randrirten Kopf der Mikrometerschraube, und dreht um, bis, wie schon weitläufig erklärt ist, das Fadenkreuz des Oculars den Metallfaden durch gleiche untere Lichtwinkel halbirt. Die Ablesung der Trommel am Index giebt dann den Malzgehalt des untersuchten Bieres. Diese Einstellung kann man mehrere Mal wiederholen, theils um vor Irrungen sicher zu sein, theils um zu sehen, ob die Angaben gleich bleiben, was erst eintritt, wenn sich

die Temperaturen ausgeglichen haben. Nach den Versuchen wird das Bier durch schnelles Umkehren des Instrumentes ausgegossen und letzteres sorgfältig mit Fließpapier ausgetrocknet.

Bestimmung des Gehaltes der Biere nach Gewichtsprocenten von Extract und Alkohol.

Nach dem bisher mitgetheilten Verfahren haben wir, analog mit dem ersten Theile der hallymetrischen Bierprobe, den Gesammtgehalt der Biere zu bestimmen gelehrt. Dabei ist jedoch nicht ausgeschieden, welchen Antheil an dem gefundenen Zahlenwerthe jeder einzelne Bestandtheil hat. Aus der Brechbarkeit dieser Bestandtheile ist bloß bekannt, daß Kohlensäure und Hopfeninfusion einen sehr geringen Einfluß auf den Gehalt äußern. Den bei weitem größten Einfluß übt der Extract, geringern der Alkohol. Extract und Alkohol können daher als der von der optischen Probe angezeigte Gehalt der Biere betrachtet werden. Will man nun aber auch analog mit dem zweiten Theile der hallymetrischen Bierprobe trennen, was an dem beobachteten Gesammtgehalte Extract, und was Alkohol ist, und ferner beide ausgedrückt haben in Gewichtsprocenten, wie bei der hallymetrischen Probe, so ist dazu noch die Beobachtung einer andern physikalischen Eigenschaft des Bieres, z. B. seiner specifischen Schwere erforderlich. Hierzu ist eine gewöhnliche gläserne Senkspindel mit Thermometer ausreichend.

Kennt man so das specifische Gewicht oder die Angabe des Aräometers für eine Biersorte und ihren Gehalt nach der optischen Probe, so findet sich aus der folgenden Tafel der Gehalt nach Gewichtsprocenten an Extract und Alkohol.

In dieser Tafel enthält die erste Columne O den Gehalt des Bieres in Maßen Normalbier per Eimer, wie ihn die optische Probe durch Ablesung unmittelbar giebt. Die Columne A enthält ebenso die Angaben ei-

ner gläsernen Senkspindel versenkt in dieselbe Biersorte, welche in der optischen Probe geprüft wurde. Diese Senkspindel soll die scheinbaren specifischen Gewichte bei der Temperatur von 15° R. angeben. Zur Bequemlichkeit für die Besitzer des Procentenaräometers für Biere und Bierwürzen, welches mit Thermometer nach R. versehen ist, habe ich in derselben Columne A auch dessen Scala, wie sie der scheinbaren specifischen Gewichtsscala entspricht, aufgenommen. Sie ist überschrieben „Bierspindel," hierdurch wird es gleichgültig, welches dieser Aräometer man bei den Versuchen anwendet. — Die Columnen I, II, III, IV enthalten Zahlen, aus deren Unterschied die Gehaltsbestimmung an Extract und absolutem Alkohol hervorgeht; sie gelten für die Temperatur von 15° des Thermometers am Aräometer. — Die Columnen I', II', III', IV' zeigen, wie viel sich diese Zahlen ändern, wenn die Temperatur des Versuches um 10° niedriger, also 5° ist. + zeigt an, daß sie zu den ersteren hinzugezählt, — daß sie davon abgezogen werden müssen. Durch ihre Berücksichtigung kann daher bei jeder Temperatnr die Gehaltsbestimmung mit gleicher Sicherheit vorgenommen werden.

Gebrauchsanweisung.

Es sei die Angabe des optischen Gehaltmessers .	= O
die Angabe der Senkspindel in demselben Biere	= A
die mit O und A auf gleicher Horizontallinie stehenden Zahlen	I, II, III, IV
so ist des Bieres Procentgehalt an Extract	= I — III
an absolutem Alkohol	= II — IV

Beispiele.

Sei bei einem Biere die Angabe der optischen Probe = 64 also . . .	O = 64
des Aräometers = 1,015 oder 4° Bierspinspindel also	A = 1,015
so findet sich in der Columne	

O die Zahl 64. Neben ihr in I 9,5, in II 22,3
A die Zahl 1,015. Neben ihr in III 4,0, in IV 19,1.
Man schreibe jetzt dies nach folgendem Schema nieder:

		Extract.	Alkohol.
für O = 64 ist		I = 9,5	II = 22,3
für A = 1,015 bei 15°		III = 4,0	IV = 19,1
		I — III = 5,5	II — IV = 3,2.

Das untersuchte Bier enthält daher:

Extract 5,5 Gewichtsprocent
Alkohol 3,2

Wir werden in weitern Beispielen die Tafel näher kennen lehren.

Bei einer zweiten Biersorte sei

	Extract.	Alkohol.
für O = 70	9,8	23,0
für A = 1,015 bei 15°	4,0	19,1
	5,8	3,9.

Hier ist ein Vergleich mit dem ersten Biere, der Extract mehr um 0,3 Proc., der Alkohol ebenfalls mehr um 0,7 Proc., obschon in beiden Bieren, bei derselben Temperatur, das Aräometer genau dasselbe spec. Gewicht anzeigte. Man sieht daraus, daß die Senkspindel oder das sogenannte Procentenaräometer für Bier allein und ohne chemisches Experiment damit zu verbinden, ganz falsche Resultate liefern kann, und also nicht, wie in neuerer Zeit versucht wurde, als Bierwaage empfohlen werden darf.

Setzen wir dagegen bei einer dritten Biersorte

	Extract.	Alkohol.
O = 64	9,5	22,3
das Aräometer aber		
A = 1,018 bei 15°	3,6	20,0
	5,9	2,3.

Der Extract ist hier gegen den ersten Versuch um 0,4 Procent mehr, der Alkohol aber um 0,9 Proc. weniger geworden. Es entsprechen daher in der optischen Probe $\frac{0,9}{0,4}$, d. i. $2\frac{1}{4}$ Gewichtstheile wasserfreier Alko-

hol, 1 Gewichtstheil Extract, und in diesen Verhältnissen wächst die Angabe der optischen Probe immer, es mag Alkohol oder Extract dazu kommen, ohne jedoch für sich zu entscheiden, ob ein Gewichtstheil Extract oder 2¼ Gewichtstheile Alkohol die Vergrößerung ihrer Angaben hervorbringen. Die optische Probe giebt also auch für sich allein angewandt jede Vermehrung des Gehaltes, aber das Aräometer kann für sich allein diese nicht geben.

Um die Aenderungen wegen Temperaturverschiedenheit anschaulich zu machen, wollen wir hier ein solches Beispiel geben:

Eine Biersorte zeigte bei 5,5° R.

			Extract.	Alkohol.
O =	75	I' II'	9,9	23,9
5,5° A =	1,0245	III' IV'	2,9	21,9
			7,0	2,0.

Als der Versuch aber bei 15° wiederholt wurde, war

		Extract.	Alkohol.
O =	73,5	10,0	23,5
15,0° A =	1,023	3,0	21,5
		7,0	2,0.

Die Tafel giebt also für verschiedene Temperaturen der Versuche doch immer dasselbe Resultat, wie es sein muß.

Hieraus ersieht man zugleich, welchen Einfluß die Temperatur auf die Angaben der optischen Proben hat. 10° R. Unterschied ändern die Gehaltsangaben bei 75 nur um 1½ Maß, was in der Regel wird vernachlässigt werden können. Will man es aber doch berücksichtigen, so dient die Tafel dazu.

Man wird nun auch einen Beleg dafür wollen, daß die Tafel richtig sei, und zu denselben Resultaten, wie die chemische Analyse führe. Diesen kann man liefern.

Eine Münchner Biersorte giebt bei 15°

	Extract.	Alkohol.
O = 75	10,05	23,6
A = $4\frac{7}{8}$	3,55	20,2
	6,5	3,4.

Durch Einsieden des Bieres bis auf $\frac{1}{3}$ des Volumens wird Kohlensäure und Weingeist vertrieben, dann mit destillirtem Wasser das ursprüngliche Gewicht (Volumen wäre falsch) ersetzt.

Diese Flüssigkeit abermals in der optischen Probe und mit dem Aräometer geprüft, giebt abgekühlt bis zu 15°

	Extract.	Alkohol.
O = 60,3	9,3	21,9
A = $6,\frac{3}{8}$	2,8	21,9
	6,5	0,0.

Tafel zu Steinheil's optischer Bierprobe.

O	I	I′	II	II′	A Aräometer nach		III	III′	IV	IV′
Optische Probe.	+ 15°	+ 5°	+ 15°	+ 5°	Scheinbar. spec. Gew. Tralles.	Procent Extract der Bierspindel	+ 15°	+ 5°	+ 15°	+ 5°
30	7,6	0,0	18,0	+ 0,2	0,995		6,5	+ 0,1	13,1	+ 0,1
2	7,7		18,3		6		6,4		13,4	
4	7,8		18,5		7		6,2		13,7	
6	7,9		18,8		8		6,1		14,0	
8	8,0		19,0		0,999	0°	6,0	+ 0,1	14,3	+ 0,1
40	8,2	0,0	19,3	+ 0,2	0	$\frac{1}{4}$	5,9		14,6	
2	8,3		19,5		1	$\frac{1}{2}$	5,8		14,9	
4	8,4		19,8		2	$\frac{3}{4}$	5,6		15,2	
6	8,5		20,0		1,003	1°	5,5	+ 0,1	15,5	+ 0,1
8	8,6		20,3		4	$\frac{1}{4}$	5,4		15,8	
50	8,7	0,0	20,5	+ 0,2	5	$\frac{1}{2}$	5,3		16,1	
2	8,8		20,8		6	$\frac{3}{4}$	5,1		16,4	
4	8,9		21,0		1,007	2°	5,0	+ 0,1	16,7	+ 0,1
6	9,0		21,3		8	$\frac{1}{4}$	4,9		17,0	

O	I	I′	II	II′	A Aräometer nach		III	III′	IV	IV′
Optische Probe.	+ 15°	+ 5°	+ 15°	+ 5°	Scheinbar. spec. Gew. Tralles.	Procent Extract der Bierspindel	+ 15°	+ 5°	+ 15°	+ 5°
8	9,1		21,5		9	½	4,7		17,3	
60	9,3	— 0,1	21,8	+ 0,2	0	¾	4,6		17,6	
2	9,4		22,0		1,011	3°	4,5	+ 0,1	17,9	+ 0,1
4	9,5		22,3		2	¼	4,4		18,2	
6	9,6		22,5		3	½	4,2		18,5	
8	9,7		22,8		4	¾	4,1		18,8	
70	9,8	— 0,1	23,0	+ 0,2	1,015	4°	4,0	+ 0,1	19,1	+ 0,1
2	9,9		23,3		6	¼	3,9		19,4	
4	10,0		23,5		7	½	3,7		19,7	
6	10,1		23,8		8	¾	3,6		20,0	
8	10,2		24,0		1,019	5°	3,5	+ 0,1	20,3	+ 0,1
80	10,3	— 0,1	24,3	+ 0,2	0	¼	3,4		20,6	
2	10,4		24,5		1	½	3,2		20,9	
4	10,5		24,8		2	¾	3,1		21,2	
6	10,7		25,0		1,023	6°	3,0	+ 0,1	21,5	+ 0,1
8	10,8		25,3		4	¼	2,9		21,8	

90	10,9	— 0,2	25,5	+ 0,3
2	11,0		25,8	
4	11,1		26,0	
6	11,2		26,3	
8	11,3		26,5	
100	11,4	— 0,2	26,8	+ 0,3
2	11,5		27,0	
4	11,6		27,3	
6	11,7		27,5	
8	11,8		27,8	
110	12,0	— 0,3	28,0	+ 0,3
2	12,1		28,3	
4	12,2		28,5	
6	12,3		28,8	
8	12,4		29,0	
120	12,5	— 0,3	29,4	+ 0,3

5	½	2,7		22,1	
6	¾	2,6		22,4	
1,027	7°	2,5	+ 0,1	22,7	+ 0,1
8	¼	2,4		23,0	
0	½	2,2		23,3	
1	¾	2,1		23,6	
1,032	8°	2,0	+ 0,1	23,8	+ 0,2
3	¼	1,9		24,1	
4	½	1,7		24,4	
5	¾	1,6		24,7	
1,036	9°	1,5	+ 0,0	25,0	+ 0,2
7	¼	1,4		25,3	
8	½	1,2		25,6	
9	¾	1,1		25,9	
1,041	10°	1,0	+ 0,0	26,2	+ 0,2
2	¼	0,9		26,5	
3	½	0,7		26,8	
4	¾	0,6		27,1	
1,045	11°	0,5	+ 0,0	27,4	+ 0,2
6	¼	0,4		27,7	
7	½	0,2		28,0	
8	¾	0,1		28,3	
1,049	12°	0,1	+ 0,0	28,6	+ 0,2

Die Tafel bestimmt folglich den Gehalt an Extract richtig und zeigt, daß der Alkohol verschwunden ist, weil sein Werth = 0 wird. Hieraus geht zugleich hervor, daß der Einfluß der Kohlensäure kleiner als 0,2 Proc. sein muß, weil sonst der Alkohol, statt = 0 zu werden, einen negativen Werth hätte bekommen müssen.

Die optische Probe zeigt nach Entfernen des Weingeistes, 14,7 Maß weniger als bei Untersuchung des Bieres.

Wir wissen aber, das $2\frac{1}{4}$ Gewichtstheile Alkohol 1 Gewichtstheil Extract optisch ersetzen. Man kann daher auch aus der Verminderung der optischen Angabe die Quantität des verdampften Alkohols berechnen. Denn man hat die Proportion: die optische Angabe nach Entfernung des Weingeistes verhält sich zu dem Gehalt an Extract, wie sich verhält die Verminderung der optischen Angabe, durch Entfernung des Weingeistes, multiplicirt mit dem Aequivalentwerth ($2\frac{1}{4}$) zu den entfernten Procenten an Alkohol, oder: 60,3 : 6,5 = 14,7 ($2\frac{1}{4}$) : Alkohol-Procent. Diese Proportion aufgelöst giebt Alkohol = 3,5 Procent. Die Tafel hat denselben Gehalt bis auf 0,1 gegeben.

Zugleich zeigt dieß, daß man auch mit der optischen Probe allein, oder mit dem Aräometer allein, jedoch nur wenn man ein Experiment damit verbindet (hier das Einsieden), den Alkohol- und Extractgehalt getrennt bestimmen kann.

Um jetzt auch noch zu sehen, wie weit die Angabe des Alkoholgehaltes mit den Angaben der hallymetrischen Probe übereinstimme, bringen wir in 1000 Gran dieses Bieres 330 Gran chemisch reines Kochsalz und finden: die Kohlensäure = 1,8 Gran, den Salzrückstand im Hallymeter aber = 23,5 Gran. Dies giebt durch Benutzung der hallymetrischen Tabelle einen Gesammtgehalt von 14,8 Proc. Der Extractgehalt ist aber schon bekannt als 6,5 Proc., die Kohlensäure = 0,2. Es sind also beide zusammen 6,7 Proc. Abgezogen bildet der Weingeistgehalt 8,1 Proc. Dies giebt den Gehalt an

absolutem Alkohol 3,6, welcher kleine Unterschied gegen die Tafel von 0,2 sehr leicht, theils in der Tafel, die 0,1 Proc. fehlen kann, theils im Experiment, was 0,1 und mehr fehlen kann, Erklärung findet.

Aehnliche Versuche sind mehrere angestellt worden. Sie haben bekundet, daß die Uebereinstimmung der Resultate nach der optischen und nach der hallymetrischen Probe größer ist, als man hätte erwarten sollen, nachdem die Tabelle der optischen Probe auf Elementen beruht, die ganz unabhängig sind von denen der hallymetrischen Probe. Da sonach die optische Probe dasselbe leistet, was die hallymetrische, aber in der Anwendung weit bequemer und sicherer ist, so läßt sich kaum bezweifeln, daß sie vielfache Anwendung finden werde.

§. 46. Farbenzerstreuung.

Zerlegung des weißen Lichtes: Wir sahen bereits früher, daß, wenn ein Bündel Sonnenstrahlen durch ein Glasprisma hindurchgeht, dieses nicht nur von seiner Richtung abgelenkt, sondern auch in Strahlen zerlegt wird, die durch das Prisma in verschiedener Richtung austreten, und diese Strahlen werden in Folge dieser Brechung verschiedene Farben zeigen. Fängt man nämlich die Strahlen auf, so wird man in dem Bilde, das dadurch entsteht, analog den sieben Grundtönen auch sieben allmälig ineinander übergehende Hauptfarben unterscheiden: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Dieses sind die einfachen, prismatischen Farben oder Regenbogenfarben. Die Breite des Bildes (Spectrum), das die dem wenigsten davon abgelenkten rothen Strahlen an dem einen Ende zeigt, hängt von dem brechenden Winkel des Prisma's und von dem Stoffe ab, aus welchem das Prisma gefertigt ist. — Um die prismatischen Farben zu erhalten, darf man nur durch das Prisma nach einer Lichtquelle sehen, man sieht sie, wenn

die Lichtquellen ein Lampenlicht oder ein erhellter Spalt sind. — Vereinigt man wieder die Strahlen, nachdem sie durch das Prisma gegangen, durch eine Linse, so erscheinen sie auf einer dahinterliegenden Wand weiß, geben also wieder einfaches weißes, homogenes Licht. Auch erblickt man wieder eine runde, weiße Scheibe, wenn man das lange prismatische Farbenbild durch ein zweites Prisma besieht, wenn man diesem nur eine richtige Stellung giebt, d. h. es so aufstellt, daß es seinerseits, wenn ein Lichtbündel hindurchginge, wiederum ein Farbenbild erzeugen würde. Es geht hieraus hervor, daß die Schwingungen der einzelnen Farben so schnell das Auge treffen, daß sie alle vereint den Eindruck der weißen Farbe hervorbringen. Hierauf beruht auch das Princip des Bousolt'schen Farbenkreisels, der in der Art construirt ist, daß eine Scheibe, die in Sectoren proportional den Größen der Farbenbilder des Spectrum's getheilt (roth 60° 45′, orange 34° 11′, gelb 54° 41′, grün 60° 45′, blau 54° 41′, indigo 34° 11′, violett 60° 45′) und mit den entsprechenden Farben gut bemalt ist, — schnell auf einem Kreisel herumgedreht, sich, je reiner die Farben, desto mehr weiß gefärbt zeigt. Auch die Anordnung Münchow's das Prisma durch ein Uhrwerk in schnelle Bewegung zu setzen und somit trotz des durchgehenden Lichtstrahles auf der Wand ein weißes nur an den Enden gefärbtes Bild zu erzeugen, basirt auf der vorhin erwähnten Thatsache, daß eine schnelle Aufeinanderfolge aller Farbetöne ein weißes Bild hervorruft. — Man erhält indeß auch weißes Licht, sobald man nur zwei Farben mischt, wie roth und grün, orange und blau, gelb und violett. Diese Farben nennt man complementäre und man erhält sie, wenn man eine der angeführten aus dem Prisma ausschließt, also die rothen Strahlen beispielsweise. Das hindurchgegangene Licht wird dann ein grünes Bild geben u. s. w. Ueberhaupt aber wird jede Farbe ihre complementäre haben, denn wenn sie nicht weiß ist, so fehlen ihr gewisse Strah-

len, um Weiß zu bilden, und diese fehlenden Strahlen zusammen geben die complementäre Farbe. Interessant ist es nun die Erscheinungen kennen zu lernen, die Fraunhofer beim Durchgange eines Lichtstrahls durch ein Prisma, das vermittelst eines Fernrohres gleichzeitig beobachtet wurde, wahrnahm. Der Wichtigkeit wegen für den gebildeten practischen Optiker lassen wir sie hier nach der Originalbeschreibung des berühmten Forschers folgen.

§. 47. Ueber Instrumente zur Ausmittelung des Brechungsverhältnisses einer Glasart nach Fraunhofer.

Bei Berechnung achromatischer Fernröhre setzt man die genaue Kenntniß des Brechungsvermögens und des Farbenzerstreuungs-Vermögens der Glasarten, die gebraucht werden, voraus. Die Mittel, welche man bisher zur Bestimmung beider angewendet hat, geben Resultate, die unter sich oft sehr bedeutend abweichen, und es bleibt aus diesem Grunde bei aller Genauigkeit in der Berechnung die Vollkommenheit achromatischer Objective immer zweifelhaft, und selten entsprechen sie ganz den Erwartungen. Mehrjährige Erfahrungen in diesem Fache führten F. auf neue Methoden, das Brechungs- und das Zerstreuungsvermögen zu finden, die hier bekannt gemacht werden sollen. Wir lassen diese Versuche in derselben Ordnung folgen, in welcher sie gemacht und abzuändern für nöthig gefunden wurden. Fraunhofer suchte einen Apparat zu Stande zu bringen, der für Sonnenlicht dasselbe wäre, was ein früher construirter für Lampenlicht ist, theils um die Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen noch genauer zu bestimmen, theils auch um zu erfahren, ob die Wirkung der brechenden Mittel auf das Sonnenlicht dieselbe sei, wie auf künstliches Licht. Hierbei kam er indeß sehr bald auf eine Entdeckung, durch welche ein solcher Apparat überflüssig wurde.

Fraunhofer stellte nun in einem verfinsterten Zimmer ein Prisma aus Flintglas vor einem Theodolith, und ließ durch eine schmale, ungefähr 15 Sekunden breite und 36 Minuten hohe Oeffnung in dem 24 Fuß vom Prisma entfernten Fensterladen, Sonnenlicht auf dasselbe fallen. Der Winkel des Prisma maß ungefähr 60°, und das Prisma stand so vor dem Objective des Theodolith-Fernrohrs, daß der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen Strahles gleich war. F. wollte nun zuerst sehen, ob sich in dem aus Sonnenlicht gebildeten Farbenbilde ein ähnlicher heller Streif, wie in dem Farbenbilde von Lampenlicht zeige; anstatt desselben erblickte er aber mit dem Fernrohre in diesem horizontalstehenden Farbenbilde fast unzählig viele starke und schwache verticale Linien, die aber nicht heller, sondern dunkler sind, als der übrige Theil des Farbenbildes, und von denen einige fast ganz schwarz zu sein schienen. „Wenn ich das Prisma drehte," bemerkt er, „so daß der Einfallswinkel größer oder kleiner wurde, so verschwanden diese Linien, wurden jedoch wieder sichtbar, wenn ich bei vergrößertem Einfallswinkel das Fernrohr sehr bedeutend kürzer machte, und bei Verminderung des Einfallswinkels das Ocular sehr viel herauszog. Und wenn das Ocular so gestellt war, daß man die Linien im rothen Theile des Farbenbildes deutlich sah, so mußte ich es etwas hineinschieben, um die im violetten Theile deutlich zu sehen. Machte ich die Oeffnung, durch welche das Licht einfiel, breiter, so wurden die feinern Linien undeutlich, und verschwanden ganz, wenn diese Oeffnung über 40 Sekunden breit war; und bei einer Oeffnung, die mehr als eine Minute Breite hatte, waren auch die breiten Linien nur undeutlich zu erkennen.

Bei Veränderung der Oeffnung am Fensterladen, wobei indeß die Entfernung des Theodoliths von derselben nicht verändert wurde, blieb die Entfernung dieser Linien von einander und überhaupt ihr Verhältniß unter sich unverändert. Sie waren immer vorhanden, aus

was für einem brechenden Mittel das Prisma auch bestand, und welche Größe auch der brechende Winkel desselben hatte, nur daß sie im Verhältniß der Größe des Farbenbildes stärker oder schwächer, und daher leichter oder schwerer zu erkennen waren. Selbst das Verhältniß dieser Linien und Streifen unter sich scheint bei allen brechenden Mitteln genau dasselbe zu sein, so daß z. B. ein gewisser Streif sich bei allen nur in der blauen Farbe, ein anderer bei allen nur in der rothen Farbe findet; daher es leicht ist, zu erkennen, mit welchen Streifen oder Linien man zu thun hat. Sie sind sowohl in den auf gewöhnliche, als in den auf ungewöhnliche Art in dem isländischen Krystalle gebrochenen Strahlen vorhanden. Die stärkern Linien machen keineswegs die Gränzen der verschiedenen Farben; es ist fast immer zu beiden Seiten einer Linie dieselbe Farbe, und der Uebergang von einer Farbe in die andere unmerklich.

Das prismatische Farbenbild der Sonne zeigt sich in Beziehung auf diese Linien, wie wir es Taf. X, Figur 3 abzubilden versucht haben; doch ist es fast unmöglich, in diesem Maßstabe alle Linien und ihr Licht auszudrücken.

Ungefähr bei A ist das rothe, bei I das violette Ende des Farbenbildes; eine bestimmte Grenze ist aber auf keiner Seite mit Sicherheit anzugeben, leichter noch bei Roth, als bei Violett. Ist alles unmittelbare oder durch einen Spiegel reflectirte Sonnenlicht ausgeschlossen, so scheint auf der einen Seite der Grenze ungefähr zwischen G und H zu fallen, auf der andern Seite in B zu sein. Mit Sonnenlichte von sehr großer Dichtigkeit wird das Farbenbild fast noch um die Hälfte länger; um aber diese größere Ausdehnung desselben sehen zu können, muß das Licht von dem Raume zwischen C und G verhindert werden, in das Auge zu kommen, weil der Eindruck, den das Licht von den Grenzen des Farbenbildes auf das Auge macht, sehr schwach ist und von dem übrigen verdrängt wird. In A ist eine scharfe begrenzte

Linie gut zu erkennen, doch ist hier nicht die Grenze der rothen Farbe, sondern sie geht noch merklich darüber weg. Bei a sind mehrere Linien angehäuft, die gleichsam einen Streifen bilden. B ist scharf begrenzt und von merklicher Dicke. Im Raume von B nach C können 9 sehr feine, scharf begränzte Linien gezählt werden. Die Linie C ist von beträchtlicher Stärke und so wie B sehr schwarz. Im Raume zwischen C und D zählte F. ungefähr 30 sehr feine Linien, welche, zwei ausgenommen, (wie auch die Linien zwischen B und C), nur mit starken Vergrößerungen oder stark zerstreuenden Prismen deutlich zu sehen, übrigens aber sehr scharf begrenzt sind. D besteht aus zwei starken Linien, die nur durch eine helle Linie getrennt werden. Zwischen D und E zählte er ungefähr 84 Linien von verschiedener Stärke. E selbst besteht aus mehreren Linien, von denen die in der Mitte etwas stärker ist als die übrigen. Zwischen E und b sind ungefähr 24 Linien.

Bei b sind 3 sehr starke Linien, wovon 2 nur durch eine schmale helle Linie getrennt sind; sie gehören zu den stärksten im Farbenbilde. Im Raume zwischen b und F zählte er ungefähr 52 Linien. F ist ziemlich stark. Zwischen F und G sind ungefähr 185 Linien von verschiedener Stärke. Bei G sind viele Linien angehäuft, worunter sich mehrere durch ihre Stärke auszeichnen.

Im Raume von G nach H zählte er ungefähr 190 Linien von sehr verschiedener Stärke. Die zwei Streifen bei H sind am sonderbarsten; sie sind beide fast ganz gleich, bestehen aus vielen Linien, und in ihrer Mitte befindet sich eine starke Linie, die sehr schwarz ist. Von H nach I sind die Linien gleich zahlreich. Es können demnach bloß im Raume zwischen B und H ungefähr 574 Linien gezählt werden; von ihnen hat F. nur die stärkern in der Zeichnung andeuten können.. Die Entfernungen der stärksten Linien von einander hat F. mit dem Theodolith gemessen, und in der Zeichnung ungefähr nach diesem Verhältnisse aufgetragen, die schwachen Linien aber blos nach der Ansicht des Farbenbildes

ohne genaues Maß gezeichnet. Frauenhofer bemerkt nun:

Ich habe mich durch viele Versuche und Abänderungen überzeugt, daß diese Linien und Streifen in der Natur des Sonnenlichtes liegen, und daß sie nicht durch Beugung, Täuschung u. s. w. entstehen. —

Warum die Linien undeutlich werden, oder gar verschwinden, wenn die Oeffnung am Fenster zu breit wird, ist nicht schwer einzusehen. Die stärkeren Linien haben ungefähr 5 bis 10 Sekunden Breite, ist die Oeffnung am Fensterladen nicht so schmal, daß das Licht, welches durch sie hindurchgeht, gleisam nur für einen Strahl anzusehen ist, oder beträgt die Breite der Oeffnung, im Winkel, bedeutend mehr, als die Breite der Linie: so fällt das Bild einer und derselben Linie mehrmals neben einander hin, und wird folglich undeutlich, oder verschwindet bei zu großer Breite der Oeffnung ganz. Warum beim Verdrehen der Prismen die Linien und Streifen nicht gesehen werden, ohne das Fernrohr länger oder kürzer zu machen, wird aus Folgendem klar.

Nur wenn die Strahlen auf ein Prisma so fallen, daß der Winkel des einfallenden Strahles an der vordern Fläche dem Winkel des gebrochenen Strahles an der hintern Fläche des Prisma gleich ist, fahren sie, in Hinsicht auf Divergenz, so aus, wie sie auffallen; ist der Winkel der einfallenden Strahlen größer als der der gebrochenen, so divergiren die Strahlen nach der Brechung durch das Prisma von einem weiter entlegenen Punkte her; ist er kleiner, so divergiren sie von einem näher gelegenen Punkte her. Die Ursache ist, daß die Strahlen, die näher an der Spitze des Prisma durchgehen, einen kürzern Weg durch dasselbe zu machen haben, als die, welche von der Spitze entfernter durchgehen, wodurch zwar die Winkel der gebrochenen Strahlen nicht geändert, die Seiten des Dreiecks für die ausfahrenden Strahlen aber in dem einen Falle größer, in dem andern kleiner werden. Dieser Unterschied muß verschwinden, wenn die Strahlen parallel auf das Prisma

fallen, welches auch der Erfahrung gemäß ist. Da die violetten Strahlen durch das Objectiv des Theodolith-Fernrohrs eine kürzere Vereinigungsweite haben, als die rothen, so ist klar, warum man das Ocular verrücken muß, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen.

Bei der so geringen Breite der Linien und Streifen im Farbenbilde wird, um sie gehörig darzustellen, ein Apparat von großer Vollkommenheit erfordert, mit dem man allen Abweichungen entgeht, welche sie undeutlich machen, oder ganz zerstreuen könnten. Die Seitenflächen der Prismen müssen daher sehr gut plan, und das Glas der Prismen ganz frei von Wellen und Streifen sein. Mit englischem Flintglase, das nie ganz frei von Streifen ist, bekommt man nur die stärkern Linien zu sehen, und da auch das gemeine Tafelglas und das englische Crownglas sehr viele Streifen enthalten, wenn sie auch für das freie Auge nicht sichtbar sind, so wählt man (wenn man nicht im Besitze eines Prisma von vollkommenem Flintglase ist) am besten eine stark zerstreuende Flüssigkeit, z. B. Anisöl, um alle Linien zu sehen; doch muß dann das prismatische Gefäß sehr vollkommen plane und parallele Seitenflächen haben. Bei allen Prismen müssen die Seitenflächen mit der Grundfläche ziemlich nahe 90° machen, und die Grundfläche muß horizontal vor dem Fernrohre liegen, wenn die Axe des Fernrohrs horizontal läuft. Die schmale Oeffnung, durch welche das Licht einfällt, muß genau vertical stehen u. s. w. Die Ursache, warum Undeutlichkeit entsteht, wenn eins oder das andere vernachlässigt wird, ist leicht einzusehen.

Da man die Linien und Streifen in dem prismatischen Farbenbilde des Sonnenlichtes eines jeden brechenden Mittels von gleicher Dichtigkeit wahrnimmt, so hat F. sich derselben bedient, um für jeden farbigen Strahl des Sonnenlichtes das Brechungsvermögen eines Mittels zu bestimmen, und da der größte Theil der Linien sehr scharf begrenzt ist, so konnte dieses mit großer

Genauigkeit geschehen. Bei brechenden Mitteln, die nur wenig zerstreuen, oder bei Prismen mit kleinen Winkeln, sind die feinen Linien selbst mit starken Vergrößerungen nur schwer zu erkennen; daher wählte F. für alle brechende Mittel die stärkern Linien zu diesen Versuchen, und zwar die auf (Taf. X, Fig. 3) mit B, C, D, E, F, G und H bezeichneten Linien. Die stärkere Linie bei b wählte Fr. nicht, weil sie zu nahe bei F ist, und er mehr in die Mitte zwischen D und F zu kommen suchte. Da das Ocular verrückt werden muß, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen, so können keine große Bögen, wie BH gemessen werden, sondern nur kleine, wie BO, CD u. s. w.

Zum Messen diente ihm ein Theodolith, und alle Winkel hatte er durch sechsmalige Wiederholung erhalten. Da in dem verfinsterten Zimmer das Theodolith nur 24 Fuß von dem Fensterladen, durch welchen das Licht einfiel, entfernt sein konnte, so hätte die an dem Winkel μ zu machende Korrektion wegen der Entfernung des Prisma von der Axe des Theodoliths, (4,25 Zoll), sehr groß werden müssen. Um der Unsicherheit, die mit einer großen Korrektion verbunden ist, zu entgehen, bestimmte er daher den Winkel μ für Lampenlicht, weil, wie oben bemerkt worden, der Strahl D und der Strahl R, immer genau gleich stark gebrochen werden. Die Lampe war in diesem Falle 692 Fuß entfernt, und die Korrektion von μ wurde dadurch nur klein; für Wasser z. B. betrug sie bei dem gebrauchten Prisma nur 40,5 Sekunden. Im verfinsterten Zimmer wurden daher nur die Bögen BC, CD, DE u. s. w. gemessen, und für diese sind die Korrektionen nicht groß, also sehr zuverlässig; bei dem Wasserprisma z. B. betragen sie nur für BC 2,5; für CD 6,5; für DE 8 Sekunden.

Die folgende Tafel enthält diese gemessenen Bogen und Winkel für verschiedene Glasarten. Alle Winkel enthalten die erwähnten Korrektionen.

Zur Berechnung der Exponenten der Brechungsverhältnisse ist, wenn man den Winkel des einfallenden Strahles mit ς, den Winkel des gebrochenen oder ausfahrenden Strahles mit ρ, den brechenden Winkel des Prisma mit ψ, und den Exponenten des Brechungsverhältnisses mit n bezeichnet:

$$n = \frac{r\,[(\sin.\rho + \cos.\psi \cdot \sin.\varsigma)^2 + (\sin.\psi \cdot \sin.\varsigma)^2]}{\sin.\psi}.$$

Und ist der Winkel des einfallenden Strahles dem des gebrochenen gleich, und wird der Winkel, den in diesem Falle der einfallende Strahl mit dem gebrochenen macht, μ genannt, so ist:

$$n = \frac{\sin.\tfrac{1}{2}(\mu + \psi)}{\sin.\tfrac{1}{2}\psi}.$$

Da der Winkel des einfallenden Strahles nur einem Winkel der gebrochenen Strahlen, z. B. dem Winkel des Strahles D, gleich sein kann, für die übrigen aber bei unverrücktem Prisma es nicht ist, so wäre dieser letztere Ausdruck von n bei stark zerstreuenden Mitteln für einen andern Strahl z. B. für H nicht ganz genau. Um diesen kurzen Ausdruck bei Berechnung der Exponenten doch mit größter Genauigkeit anwenden zu können, wurden von Fr. die Bogen BC, CD, DE u. s. w. in dem Falle gemessen, wenn die Entfernung zweier Linien von einander am kleinsten war. Diese Entfernung haben im Farbenbilde zwei Linien alsdann, wenn ein in der Mitte zwischen ihnen liegender Strahl mit dem einfallenden Strahle den kleinsten Winkel macht. Wurde z. B. der Bogen GH gemessen, so war das Prisma so gestellt, daß ein ungefähr in der Mitte zwischen G und H liegender Strahl mit dem Prisma denselben Winkel, als der einfallende Strahl mit dem Prisma machte. Diese Stellung hat das Prisma dann, wenn der Winkel der Brechung dieses mittlern Strahles am kleinsten ist, und dieses läßt sich am Fernrohre sehr genau beobachten, und durch Verdrehen der Scheibe erreichen, worauf das Prisma liegt. Bei wenig zerstreuenden Mitteln

§. 48. Tabelle für die Maße der Winkel, die bei verschiedenen Substanzen die einfallenden Strahlen mit den gebrochenen bilden.

Tafel I.

Brechendes Mittel	Temperatur Raum	Specifisches Gewicht	Winkeln des Prisma	Winkel, den d. einfallende Strahl mit d. gebrochenen Strahle D macht μ	BC	CD	DE	EF	FG	GH
Flintglas Nr. 13	15°	3,723	26°24′30″	17°27′ 8″	3′16″	9′ 4,2″	11′50″	10′33,9″	20′23′9″	18′18″
Crownglas Nr. 9	14°	2,535	39°20′35″	22°38′19″	2′44,5″	7′23,5″	9′14″	8′14″	15′10″	13′18″
Wasser	15°	1,000	58° 5′40″	22°36′40″	3′24″	8′10″	9′58″	8′38″	15′16″	12′41,9″
Wasser	15°	1,000	58° 5′40″	22°36′40″	3′12,4″	8′10,6″	9′57,5″	8′30,5″	15′15,6″	12′46′2″
Eine Auflösung von Kali im Wasser	9°	1,416	58° 5′40″	27°45′56″	4′ 2″	10′26″	12′54″	11′12″	20′36″	17′24″
Terpentinöl	8½°	0,885	58° 5′40″	33°20′12″	4′56″	13′52″	18′46,1″	16′14″	31′ 8″	27′28″
Flintglas Nr. 3		3,512	27°41′35″	17°35′16,6″	3′ 8″	8′22″	10′46″	9′50″	19′10″	17′10″
Flintglas Nr. 30		3,695	21°42′15″	14° 3′ 9″	2′35,6″	6′56,8″	9′12,6″	8′19″	16′15,6″	14′32,2″
Crowngl. Nr. 13		2,535	43°27′36″	25°26′35,4″	3′ 5″	8′14,4″	10′28,2″	9′10″	17′14″	14′48,4″
Crownglas Litt. M		2,756	42°56′40″	26°39′13″	3′32,8″	9′37,6″	12′29,8″	11′ 1,6″	20′53,6″	18′17,4″
Flintglas Nr. 23		3,724	60°15′42″	49°55′13,2″	11′12,6″	31′14,8″	41′21,4″	38′14,8″	1°14′45,2″	1° 8′ 3,6″
Flintglas Nr. 23		3,724	45°23′14″	32°45′12,2″	6′26″	17′47,8″	23′31,8″	21′23,8″	41′35,4″	37′28,8″

oder bei Prismen mit kleinen Winkeln bedarf es dieser Sorgfalt nicht, um die nöthige Genauigkeit zu erreichen. — Wird der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl E mit En für den Stahl F mit Fn und so ferner bezeichnet, so ist für E

$$En = \frac{\sin. \frac{1}{2} (\mu + \psi + DE)}{\sin. \frac{1}{2} \psi}$$

und für F

$$Fn = \frac{\sin. \frac{1}{2} (\mu + \psi + DE + EF)}{\sin. \frac{1}{2} \psi},$$

welches so gut als ganz genau ist.

Die folgende Tafel II enthält diese aus voriger Tafel I berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse für die verschiedenen farbigen Strahlen jedes brechenden Mittels.

§. 49. Exponenten der Brechungsverhältnisse.

Tafel II.

Brechendes Mittel	Bn	Cn	Dn	En	Fn	Gn	Hn
Flintglas Nr. 13.	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crownglas Nr. 9.	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541657	1,546566
Wasser	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Wasser	1,330977	1,331709	1,333577	1,335849	1,337788	1,341261	1,344162
Kali	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Terpentinöl	1,479496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flintglas Nr. 3	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640372
Flintglas Nr. 30	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crownglas Nr. 13	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,539908	1,544684
Crownglas Litt. M	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas Nr. 23 Prisma von 60°	1,626596	1,628469	1,633667	1,640495	1,646756	1,658848	1,669686
Flintglas Nr. 23 Prisma von 45°	1,626564	1,628451	1,633666	1,640544	1,646780	1,658849	1,669680

§. 50. Zerstreuungs-Verhältnisse der verschiedenfarbigen Strahlen.

Tafel III.

Brechende Mittel	Cn′ — Bn′	Dn′ — Cn′	En′ — Dn′	Fn′ — En′	Gn′ — Fn′	Hn′ — Gn′
	Cn — Bn	Dn — Cn	En — Dn	Fn — En	Gn — Fn	Hn — Gn
Flintglas Nr. 13 und Wasser	2,562	2,871	3,073	3,193	3,460	3,726
Flintglas Nr. 13 u. Crownglas Nr. 9	1,900	1,956	2,044	2,047	2,145	2,195
Crownglas Nr. 9 und Wasser	1,349	1,468	1,503	1,560	1,613	1,697
Flintglas Nr. 3 u. Crownglas Nr. 9	1,729	1,714	1,767	1,808	1,914	1,956
Crownglas Nr. 13 und Wasser	1,309	1,436	1,492	1,518	1,604	1,651
Crownglas Lit. M u. Crownglas Nr. 13	1,174	1,171	1,202	1,211	1,220	1,243
Flintglas Nr. 13 u. Crownglas Lit. M	1,667	1,704	1,715	1,737	1,770	1,816
Flintglas Nr. 3 u. Crownglas Lit. M	1,517	1,494	1,482	1,534	1,579	1,618
Flintglas Nr. 30 u. Crownglas Nr. 13	1,932	1,904	1,997	2,061	2,143	2,233
Flintglas Nr. 23 u. Crownglas Nr. 13	1,904	1,940	2,022	2,107	2,168	2,268

Die zweite dieser beiden Tafeln (Taf. III) zeigt die Verhältnisse der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen in mehreren Paaren brechender Mittel, wie sie sich aus den Brechungsverhältnissen in Taf. II ergeben. Bei jedem Paare ist die Zerstreuung des weniger zerstreuenden Mittels 1 genannt. Man sieht aus dieser Tafel, wie groß bei einigen Paaren brechender Mittel der Unterschied der relativen Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen ist. So z. B. verhält sich bei Flintglas Nr. 13 und Wasser die Zerstreuung der Strahlen vom Raume BC, wie 1 : 2,56 und die vom Raume G H wie 1 : 3,73. Bei einigen, wie bei Flintglas und Terpentinöl, sind aber auch diese Unterschiede verhältnißmäßig sehr gering. Man hat daher gegründete Hoffnung, durch Veränderung der Bestandtheile der Glasarten solche erhalten zu können, bei welchen diese Unterschiede geringer sind, als bei Glasarten, die bisher zu Objectiven gebraucht wurden. Crownglas Lit. M ist einer der Versuche, die F. in dieser Absicht im Kleinen gemacht hatte.

Wird die Abweichung, die wegen der Unterschiede der relativen Zerstreuung der verschiedenen Farben bei einem Objective aus Crownglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 3 entsteht, 1,00 genannt, so ist diese Abweichung bei einem Objective aus Crownglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 13 von derselben Brennweite ungefähr 0,57; bei einem Objective aus Crownglas Lit. M und Flintglas Nr. 13, 0,52; und bei einem Objective aus Crownglas Nr. 9 und Crownglas Lit. M, 1,74. Bei Berechnung dieser Abweichungen ist auf die Intensität der verschiedenen Farben Rücksicht genommen, worüber unten mehr vorkommen wird.

Aus den erhaltenen Resultaten mit beiden Prismen von Flintglas Nr. 23 läßt sich sehr sicher darauf schließen, wie weit alle gemessene Bogen und Winkel zuverlässig sind. Bei dem Prisma von 45° dieses Glases ändert ein Unterschied von 2″ im Bogen den Exponenten des Brechungsverhältnisses in der fünften Dezimal-

stelle um 1. Bei dem Prisma von 60° bringen 3,5″ diese Veränderung hervor.

Nimmt man an, daß bei einem achromatischen Objective die Abweichung der dichteren Strahlen dem deutlichen Sehen im Verhältnisse ihrer Dichtigkeit mehr schade als weniger dichte, so wird die Deutlichkeit alsdann am größten sein, wenn das Verhältniß der Zerstreuung, das 1 : x heißen mag, so genommen wird, daß

$$x = \frac{b\beta + c\nu + d\delta + e\varepsilon + f\xi + g\eta}{\beta + \nu + \delta + \varepsilon + \xi + \eta} \text{ ist.}$$

(Es ist nämlich in diesem Falle: $(x-b)\beta + (x-c)\nu + (x-d)\delta + (x-e)\varepsilon + (x-f)\xi + (x-g)\eta = o$) wo β, ν, δ u. s. w. die Menge des Lichtes in den Räumen BC, CD, DE u. s. w. bedeuten, und durch b, c, d u. s. w. die Quotienten $\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn'}$, $\frac{Dn' - Bn'}{Dn - Bn}$ u. s. w. ausgedrückt werden. Für Flintglas Nr. 30, und Crownglas Nr. 13 ist demnach dieses Verhältniß, wie 1 : 2,012. Fr. hatte aber gefunden, daß bei Objectiven von diesen beiden Glasarten das Sehen alsdann am deutlichsten ist, wenn dieses Verhältniß, wie 1 : 1,98 genommen wird. Dieses beweist, daß die weniger dichten Strahlen etwa mehr, als im umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtigkeit abweichen müssen, wenn die Deutlichkeit am größten sein soll.

Bei welchen, aus mehreren Objectiven von denselben Glasarten, bei gleicher Brennweite und Oeffnung, die Farbenzerstreuung am besten gehoben ist, erkennt man, wenn man jedes Objectiv halb, die Mitte durchschneidend, zudeckt. Bei denjenigen, wo die Linien eines entfernten Gegenstandes, die mit der Durchschnittslinie des Objectives parallel laufen, am deutlichsten gesehen werden, ist die Farbenzerstreuung am vollkommensten gehoben. Man darf sich aber dabei von den Farben, die gesehen werden, nicht irre führen lassen, und muß nur auf Präcision achten; weil man bei einem Objective

weniger Farben sehen kann, als bei einem andern, während die Präcision doch geringer ist.

Diese umständliche Ableitung des besten Zerstreuungsverhältnisses mußte nur dazu dienen, Fraunhofer zu belehren, wie sehr Strahlen von geringer Dichtigkeit stärker abweichen dürfen, als dichtere. Das erhaltene Resultat wird noch einer großen Vervollkommnung fähig sein, wenn es aus größern Objectiven abgeleitet wird, bei welchen auch die Oeffnung, im Verhältnisse zur Brennweite, so groß als möglich ist. Er behielt sich diese Verbesserung vor. Daß bei allen zu dieser Absicht gebrauchten Objectiven die Abweichung wegen der sphärischen Form gleich vollkommen gehoben war, ist zu erinnern überflüssig.

Bei genauer Ableitung des besten Zerstreuungsverhältnisses aus Objectiven muß noch auf eine Abweichung Rücksicht genommen werden, die im Auge selbst vorgeht, von der wir jetzt sprechen wollen. Hat man im Gesichtsfelde des Fernrohrs am Theodolith die rothe Farbe des Spectrums, und ist das Ocular so gestellt, daß man den Mikrometerfaden vollkommen deutlich sieht, und man bringt nun die blaue Farbe des Spectrums in das Gesichtsfeld, so sieht man bei unverrücktem Oculare den Mikrometerfaden nicht mehr. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muß das Ocular bedeutend viel dem Faden näher gerückt werden, und zwar um mehr als das Doppelte der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung der Ocularlinse. Dieses beweist, daß die verschiedenen farbigen Strahlen im Auge nicht einerlei Vereinigungsweite haben, und daß das Auge nicht achromatisch ist. Das Maß, um wie viel bei den verschiedenen Farben das Ocular verrückt werden muß, um den Faden deutlich zu sehen, dient, wenn man noch auf die Farbenzerstreuung der Ocularlinse Rücksicht nimmt, zur Berechnung dieser Abweichung, die nicht unbedeutend ist. Daß bei dieser Bestimmung kein anderes Licht, als das des Spectrums in das Gesichtsfeld kommen dürfe, auch der Faden ganz unbeleuchtet von anderm Lichte sein müsse, ist zu erinnern überflüssig.

Fr. hatte mit Hülfe einer Ocularlinse aus Crownglas Nr. 13 von 0,88" Brennweite gefunden, daß, wenn man mit dem Faden von dem Strahle C auf den Strahl G geht, das Ocular um 0,054" verrückt werden muß, wenn man den Faden mit beiden Strahlen gleich deutlich sehen soll. Eine Linse aus Crownglas Nr. 13 von 1,33" Brennweite muß bei denselben beiden Strahlen um 0,111 verrückt werden, wenn sie den Faden gleich deutlich zeigen soll. Eine Linse aus Flintglas Nr. 30 von 0,867" Brennweite muß in demselben Falle um 0,074 verrückt werden, und eine Linse aus Flintglas Nr. 30, von 1,338 Brennweite, um 0,148. Während er bei diesen Versuchen mit dem einen Auge durch die Ocularlinse nach dem Faden sah, sah er mit dem andern Auge nach einem in der Axe desselben gelegenen unveränderlichen Gegenstand, um sich zu versichern, daß das Auge bei den verschiedenen farbigen Strahlen immer gleich geeignet bleibe, weiße Strahlen von bestimmter Divergenz auf der Netzhaut zu vereinigen, und es sich folglich in dieser Beziehung bei den verschiedenen Farben nicht ändere. Wenn er indeß auch diese Vorsicht nicht brauchte, wichen die Resultate von den vorigen doch nicht merklich ab.

Aus den Beobachtungen mit der ersten Linse folgt, daß, wenn die rothen Stahlen C parallel auf das Auge fallen, die blauen G von einem 23,7" entlegenen Punkte her divergiren müssen, um im Auge einerlei Vereinigungsweite mit jenen zu haben. Die Beobachtungen mit der zweiten Linse ergeben dieses Maß 21,3"; die mit der dritten Linse 19,5; und die mit der vierten Linse 17,9. Auf den Antheil, den die Zerstreuung der Linsen an dem obigen Verrücken hat, ist bei dieser Berechnung Rücksicht genommen worden. Durch Wiederholung und Abänderung der Versuche wird diese Abweichung indeß noch erst genauer bestimmt werden müssen. Es wäre zu wünschen, daß die Versuche durch Augen verschiedener Personen wiederholt würden, um, wenn sich Unterschiede finden, ein Mittel daraus neh-

men zu können. Es ist klar, daß es allerdings der Mühe werth sei, bei Berechnung achromatischer Objective, auch auf die Farbenzerstreuung des Auges Rücksicht zu nehmen und diese Abweichung durch die Objective zu vernichten.

Wenn bei achromatischen Objectiven die Abweichung wegen der sphärischen Form der Flächen vollkommen gehoben sein soll, so müssen, bei Berechnung derselben, die angenommenen Exponenten der Brechungsverhältnisse der mittlern Strahlen in beiden Glasarten zu einem und demselben Strahl gehören; gehören sie für zwei verschiedene Strahlen, so ist, der genauesten Rechnung ungeachtet, diese Abweichung nur unvollkommen gehoben. Da man sich durch die Entdeckung der Linien im Farbenbilde hiervon vollkommen versichern kann, so ist der Nutzen der Linien, auch zur Vernichtung dieser Abweichung, von Bedeutung.

Vor Entdeckung der Linien im Farbenbilde überzeugte Fr. sich von dem gleichen Brechungsvermögen zweier Stücke Glases dadurch, daß er beide Stücke zusammenkittete und aus ihnen ein Prisma schliff; erschienen die beiden Spectra, die durch dieses Prisma gesehen wurden, an einem Orte und gegen einander nicht verrückt, so schloß er, daß das Brechungsvermögen beider Stücke gleich sei. Nach Entdeckung der Linien im Farbenbilde aber fand er, daß zwei solche Stücke noch sehr verschiedenes Brechungsvermögen haben können, ohne daß es auf obige Art bemerkbar wird. Nicht nur Stücke aus verschiedenen Orten eines Schmelzhafens waren in ihrem Brechungsvermögen merklich verschieden, sondern auch in zwei Stücken von einer Scheibe fand er vielmal noch sehr kenntliche Unterschiede. Er hatte es dann durch viele Versuche dahin gebracht, daß aus einem Hafen mit 400 Pfund Flintglas selbst zwei Stücke, wovon eines vom Boden, das andere von der Oberfläche des Hafens genommen ist, gleiches Brechungsvermögen haben.

§. 51. Von dem Verhältnisse der Dispersion in verschiedenen Mitteln und den zerstreuenden Kräften.

Wenn man mit Aufmerksamkeit die Spectra untersucht, welche durch Prismen verschiedener Substanzen erzeugt werden, so sieht man bald, daß die Farben, obgleich in derselben Ordnung auf einander folgend, doch nicht proportionale Länge einnehmen. So zeigt ein Flintglasprisma verhältnißmäßig weniger Roth und mehr Violett, als ein Prisma von Crownglas und natürlich hängt dieses mit dem Brechungsexponenten der verschiedenen Farben zusammen.

Die Trennung der verschiedenfarbigen Strahlen durch die Brechung wird mit dem Namen der Dispersion oder Zerstreuung des Lichtes bezeichnet. Ein Mittel ist um so mehr zerstreuend, je größer die Differenz zwischen den Brechungsexponenten der rothen und der violetten Strahlen ist. So ist nach Tabelle II die Differenz zwischen den Brechungsexponenten der Streifen B und H.

Flintglas Nr. 13	0,043313
Crownglas Nr. 3	0,020734
Flintglas Nr. 3	0,038331
Flintglas Nr. 30	0,042502
Crownglas Nr. 13	0,020372
Crownglas Lit. M	0,024696
Flintglas Nr. 23	0,043090

Kennt man nun die totale Dispersion, also den Unterschied zwischen den Brechungsexponenten der äußersten Strahlen B und H für irgend eine Substanz, so sind damit noch nicht die übrigen Verhältnisse des Spectrums gegeben. Um sie zu kennen, muß man den Unterschied der Brechungsexponenten der Streifen B und C, C und D u. s. w. kennen, die man aber unmittelbar als Tabelle III erhalten kann. Sie zeigt das Verhältniß der Dispersion, das man erhält, wenn man die partielle oder totale Dispersion einer Substanz

durch die entsprechende Dispersion einer andern Substanz dividirt. —

Die zerstreuende Kraft einer Substanz ist der Quotient, welchen man erhält, wenn man seine Dispersion durch den um 1 verminderten Brechungsexponenten der mittlern Strahlen dividirt. Man nimmt für den mittlern Brechungsexponenten gewöhnlich den des Streifen 9.

Ein practisches Beispiel, wie man die Brechungsverhältnisse mittelst der Spectral-Linien bestimmt, wird einmal bei Gelegenheit der Besprechung der achromatischen Prismen und dann auch später folgen.

§. 52. Brewster über Fraunhofer'sche Linien- und Kuhn's-Beobachtungen.

Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, scheint es uns nicht überflüssig zu sein, noch einige von Sir David Brewster bekannt gemachte Beobachtungen über das Sonnenspectrum mitzutheilen. Sie lassen sich im Allgemeinen so zusammenfassen: Der neue von B. zuerst untersuchte Theil erstreckt sich über die Fraunhofer'sche Grenze A und ist so lang wie AB. Es enthält dieser Raum fünf Hauptlinien und eine große Anzahl schwächerer mit breiteren und schmäleren Streifen von verschiedenen Helligkeitsgraden versehene Linien. Zwölf Linien liegen dicht bei A. — In dem Raume zwischen A und B sind 3 Theile zu unterscheiden: 1) der zwischen der Linie A und der ersten Linie der Gruppe a oder A1; 2) die Gruppe a selbst oder der Raum zwischen 1 und 8; 3) der Theil zwischen der letzten Linie 8 und B oder 8 B. Die Gruppe a enthält 36 Linien. B 8 enthält dicht bei B viele recht scharfe Linien, die von B durch einen schmalen glänzenden Streifen getrennt sind, und die je näher sie nach a kommen, desto schwächer werden. Der Theil A1, der bei Fraunhofer keine Li-

nien zeigt, hat 9 bis 10 sehr schwache Streifen. Schließlich spricht Brewster die Meinung aus, daß alle Streifen, sobald wir reinere Prismen besitzen werden, sich in Linien ähnlich wie die Nebelflecke in Sterne auflösen werden. Ebenso hat Kuhn in München nochmals in der neuesten Zeit in einem Flintglasprisma aus dem Institute von Merz die Linien untersucht und folgende Resultate bekannt gemacht: 1) Die von Fraunhofer entdeckten verticalen Linien zeigen sich im Spectrum unter allen bis jetzt beobachteten Verhältnissen und unter sonst gleichen Umständen stets an derselben Stelle: sind also fixe Linien im Sonnenspectrum. 2) Die Zahl der fixen Linien ist im rothen Theile am geringsten, nimmt von roth noch violett hin zu und ist im Violett am größten. 3) Die Anzahl der Linien im Spectrum ist von der Höhe der Sonne über dem Horizonte abhängig und wächst gegen Sonnenuntergang, so wie während des Sonnenaufganges von Gelb bis zur wahrnehmbaren Grenze des Spectrums jenseits von A. 4) Die Longitudinallinien (von links nach rechts) sind nicht im Sonnenlichte, sondern sind zufällige Erscheinungen. 5) Die Anzahl der Linien im Spectrum des Sonnenlichtes ist unter gewöhnlichen Umständen gegen 3000. —

§. 53. Broch's Ergänzungen zu Fraunhofer's Linien.

Auch O. J. Broch in Stockholm hat im Jahre 1853 Beobachtungen über Fraunhofer'sche Linien gemacht, wie sie sich dem unbewaffneten Auge darstellen. Er ließ Sonnenlicht durch einen engen Schlitz auf die damit parallele Kante eines Prismas fallen und concentrirte die daselbst gebrochenen Strahlen durch eine Sammellinse auf einen Schirm. Bezeichnet man die Brennweite der Linse mit f, den Weg, den das Sonnenlicht von dem Schlitze durch das Prisma nach der Linse zu durchlaufen hat mit a und den Abstand der

Linse von dem Schirme mit b, so können a und b so groß genommen werden, daß

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Dann sieht man mehrere Fraunhofer'sche Linien auf dem Schirme, besonders wenn er aus mattgeschliffenem Glase besteht. — Broch kann auch nur die exacten Fraunhofer'schen Untersuchungen bestätigen und kleine Modificationen hinzufügen. So findet sich zwischen C und D ein stärkerer Streifen, als er bei Fraunhofer gegeben ist, war. In der Nähe von D sind viele dichte feine Linien und zwischen G und H liegen drei breite Bündel feiner Linien.

§. 54. Dutirou's Messung von Brechungscoefficienten der Glassorten.

Interessant und wichtig ist es jedenfalls noch für den Künstler einen Apparat und eine Methode von Dutirou zur Messung von Brechungscoefficienten verschiedener Glassorten kennen zu lernen. Der Apparat bestand aus einem Repetitionskreise, welcher nach dem Princip des Goniometers von Charles oder des früher erwähnten von Gambey angeordnet war. Es wurde das Minimum der Ablenkung D entweder für die sieben Fraunhofer'schen Linien gemessen, oder es geschah dieses für einen Strahl und für die übrigen wurden nur die kleinen Winkel δ bestimmt, welche ihre Richtung mit der jenes Strahls im Minimum der Ablenkung bildete. Es dienten die Formeln:

$$\text{im ersten Falle } n = \frac{\sin. \frac{1}{2} (A + E)}{\sin. \frac{1}{2} A}$$

$$\text{im zweiten Falle } n' = \frac{\sin. \frac{1}{2} (A + D)}{\sin. \frac{1}{2} (A + \vartheta)}$$

wo der Winkel ϑ aus der Gleichung

$$\text{tang. } \vartheta = \text{tang. } \tfrac{1}{2}\,\delta \cdot \text{tang. } \tfrac{1}{2} A \text{ cotang. } \tfrac{1}{2} (D + A - \delta)$$

folgte. Dutirou bediente sich eines nach der Idee Babinets construirten Apparates, der dazu diente die Messung der Brechungscoefficienten von Strahlen, welche einer bestimmten Fraunhofer'schen Linie entsprechen, auch ohne Sonnenlicht möglich zu machen. Dieser Apparat, der den Namen Illuminator erhalten hat, besteht aus zwei horizontalen, auf einem Fuße angebrachten Röhren, welche unter einem solchen Winkel geneigt sind, daß Strahlen, die durch die eine Röhre eintreten und in einem im Scheitel des Winkels angebrachten Flintglasprisma das Maximum der Ablenkung erfahren haben, durch eine feine Spalte, welche in einer vor dem Ende der zweiten Röhre angebrachten Deckplatte befindlich ist, wieder austreten. Auch bei ihrem Eintritte müssen die Strahlen eine feine Spalte passiren, auf welche sie durch eine cylindrische Linse vereinigt werden. Sie gehen dann, ehe sie auf das Prisma treffen, noch durch eine convexe Linse, welche im Abstand ihrer Brennweite von der Spalte angebracht ist, so daß die Strahlen parallel zum Prisma gelangen. Die Spalte, durch welche die Strahlen austreten, ist mittelst einer Mikrometerschraube verschiebbar, und es können zuerst am Kopfe der Mikrometerschraube bei Anwendung von Sonnenlicht die Stellungen bezeichnet werden, bei welchen Licht von der Brechbarkeit der sieben Fraunhofer'schen Linien durch die Spalte geht; dann kann man bei späterem Gebrauche das Sonnenlicht durch künstliches Licht ersetzen. Besser ist es, wenn statt der sphärischen Linse eine cylindrische Convexlinse zum Parallelmachen der Strahlen angewendet wird und ebenso statt eines Prisma's aus Flintglas eins aus einem Bleiborsilicat. Wir sehen nun die Brechungscoefficienten folgender Glassorten hiernach bestimmt:

1. Schweres gelbes Borsäure-Flintglas aus der Fabrik von Fexl.
2. Frauenhofer's Flintglas.
3. Bontemp's Flintglas rein oder hygroscopisch.
4. Guinand's Flintglas.

5. Guinand's Flintglas mit Borsäure.
6. Desgleichen, aber eine zweite Sorte.
7. Altes Guinand'sches weißes Flintglas.
8. Guinand'sches Kronglas mit Borsäure.
9. Desgleichen.
10. Gewöhnliches Guinand'sches Kronglas.
11. Venetianisches Glas, sehr trocken.
12. Guinand'sches Kronglas, neu und von vorzüglicher Güte.
13. Dollond'sches Kronglas.
15. Borsäure-Glas mit einer neuen Base von Mais und Clemendot in Clichy.
15. Bontemp'sches Kronglas (schlecht zu optischem Gebrauche).
16. Wie Nr. 14.
17. Desgleichen.
18. Glas von St. Gobie.

§. 55. Tabelle für die Brechungscoefficienten verschiedener Gläser.

Nummer	Dichte	Die Dichte gemessen bei	Temperatur bei Messung d. Brechung	Brechender Winkel	n_h	n_g	n_f	n_e	n_d	n_c	n_b
1	5,417	10,0°	19,0°	35° 15′ 2″	1,76369	1,74859	1,73197	1,72339	1,71439	1,70700	1,70492
2	2,135	8,75	14,25	36 24 50	1,66788	1,65729	1,64536	1,63913	1,63238	1,62722	1,63142
3	2,011	8,75	18,25	35 5 22	1,65580	1,64573	1,63458	1,62847	1,62222	1,61720	1,61541
4	3,610	10,0	16,0	39 50 30	1,65421	1,64432	1,63314	1,62730	1,62090	1,61605	1,61440
5	4,322		15,0	60 5 50	1,65391	1,64389	1,63276	1,62696	1,62055	1,61580	1,61402
6	3,559	10,0	16,0	39 57 37	1,64964	1,64008	1,62917	1,62349	1,61715	1,61242	1,61071
7	2,622	10,0	18,5	60 0 52	1,64906	1,63913	1,62800	1,62227	1,61598	1,61125	1,60950
8	2,642	10,0	15,5	60 37 56	1,55690	1,55180	1,54584	1,54270	1,53910	1,53617	1,53519
9	2,613	10,0	14,0	60 1 44	1,55089	1,54902	1,54324	1,45002	1,53635	1,53337	1,53264
10	2,184	8,5	17,5	39 55 40	1,54855	1,54387	1,53825	1,53500	1,53173	1,52904	1,52805
11	2,713	9,7	18,0	59 58 45	1,54805	1,54327	1,53754	1,53445	1,53089	1,52837	1,52727
12	2,362	9,0	16,0	60 0 53	1,54778	1,54304	1,53743	1,53455	1,53110	1,52849	1,52746
13	2,484	10,0	11,5	59 57 32	1,54442	1,53927	1,53409	1,53113	1,52773	1,52469	1,52400
14	2,835	9,5	15,0	35 29 50	1,53660	1,53251	1,52706	1,52401	1,52072		
15	2,447	10,0	16,0	60 7 30	1,53224	1,52754	1,52216	1,51921	1,51596	1,51338	1,51244
16	1,951	8,5	17,25	35 34 22	1,53137	1,52704	1,52192	1,51900	1,51582	1,51330	1,51220
17	1,523	8,5	17,5	34 55 14	1,53107	1,52671	1,52142	1,51863	1,51565	1,51216	1,51133
18	2,329	8,5	19,25	59 34 22	1,52073	1,46238	1,45657	1,45290	1,44979	1,44711	1,44600

§. 56. Meyerstein's Apparat zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens.

Nachdem wir im Vorhergehenden die treffliche Methode zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens verschiedener Medien kennen lernten, so verlangt diese Methode außer einer bedeutenden Localität noch eine mühsame Aufstellung und Berichtigung der zu den Messungen erforderlichen Apparaten. Es ist deshalb sehr schätzenswerth, daß Herr Meyerstein in Göttingen die Construction eines Instrumentes zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens verschiedener Medien veröffentlicht hat, das auch von Professor Wilhelm Weber rühmlichst anerkannt wird. Wir lassen die Construction des Apparats hier nach einer Abhandlung des geschickten und rühmlichst bekannten Herrn folgen.

Um die nothwendige große Räumlichkeit zu vermeiden, bringt M. den Lichtspalt in den Brennpunkt eines achromatischen Objectivs, wodurch er zugleich eine jede Reduction der zu messenden Winkel überflüssig macht.-- Um den Ablenkungswinkel einer bestimmten fixen Linie zu messen, ist es bei der Anordnung dieses Apparates nicht erforderlich, daß der Ein- und Austrittswinkel des zu beobachtenden Strahles einander gleich seien, dessen Auffindung so sehr viel Zeit und Mühe kostet, sondern man läßt den in das Prisma eintretenden Strahl parallel zur Axe des Beobachtungsfernrohres austreten, d. h. also die optische Axe des Beobachtungsfernrohres soll senkrecht gegen eine Fläche des Prisma's sein.

Kennt man den brechenden Winkel des Prisma's φ, den des eintretenden Strahles mit dem austretenten μ, so ist das Brechungsverhältniß für diesen Strahl:

$$n = \frac{\sin. (\mu + \varphi)}{\sin. \varphi}$$

wie es aus Fig. 1, Taf. XI hervorgeht, in welcher A

der eintretende und B der austretende Strahl ist, letzterer also senkrecht gegen die Fläche a c des Prisma's abc ist.

Beschreibung des Instrumentes:

In den Abbildungen sind die gleichen Stücke auch mit gleichen Buchstaben bezeichnet.

Es ist in Fig. 2, Taf. XI A der Dreifuß des Instruments mit der Büchse B zur Aufnahme der Axe d, des Kreises K und des Kreuzes C (Grundansicht Fig. 3). Der Vorsprung b des Kreuzes C ist cylindrisch durchbohrt und in diese Durchbohrung ist ein Zapfen gepaßt, welcher das Rohr F mit dem achromatischen Objective trägt, in dessen Brennpunkte der Lichtspalt sich befindet.

Dieser Zapfen ist durch die Schraube c zu klemmen. Der Theil des Kreuzes C, welcher dem Vorsprunge gegenüber ist, dient nur als Gegengewicht des erwähnten Rohres F. Unter dem Kreise K ist im Centro desselben ein Arm D geschraubt, Fig. 2, dessen Ende ebenfalls einen Vorsprung b′ trägt, welcher auch cylindrisch durchbohrt ist und zur Aufnahme des Beobachtungsfernrohres F″ dient; das Stück t ist als Gegengewicht für F′. Es lassen sich diese Rohre F und F′ durch Drehung um ihre Zapfen z z′ und durch Auf- und Abschieben derselben genau einander gegenüberstellen, und durch Drehung der Röhren in ihren Hülsen b, b′ läßt sich bewirken, daß sowohl der Lichtspalt des Rohres F als auch das Fadenkreuz des Rohres F′ vertical sind. Durch die Verbindung des Armes D mit dem Kreise K ist man im Stande den Kreis und das Beobachtungsfernrohr F′ gleichzeitig um die Axe d zu drehen. Im Oculare des Beobachtungsfernrohrs befindet sich ein kleines planparalleles Gläschen unter einem Winkel von 45°, durch welches das Fadenkreuz entweder durch Lampenlicht oder auch durch Tageslicht erleuchtet werden kann. Zur Messung dieser Drehung dient sowohl ein Index, welcher mit dem Kreuze verbunden ist, als auch die an den

Armen a, a' des Kreuzes Fig. 3 diametral gegenüber befestigten Mikrometer-Mikroskope.

Der Kreis K ist durch eine Klemme und Mikrometerschraube ebenfalls mit dem Kreuze C verbunden. Die Axe d tritt mit einem Conus durch den Kreis. Auf diesen Conus ist die Scheibe S gepaßt und mittelst einer Mutter so fest geschraubt, daß man sie noch bequem drehen kann. An der Peripherie dieser Scheibe ist eine Klemme angebracht, welche mit dem Kreise K in Verbindung steht, auch läßt sich diese Scheibe durch eine Mikrometerschraube fein gegen den Kreis bewegen. Ein kleines Tischchen F mit drei Spitzschrauben, welche etwa 120° von einander abstehen, kann man auf die Scheibe S stellen, und, damit die Mitte dieses Tischchens mit der Axe des Kreises nahe zusammenfalle, ist in der Scheibe eine Nuthe von dem Durchmesser eingedreht, welche dem Kreise entspricht, der den drei Spitzschrauben angehört. Auf der oberen Fläche dieses Tischchens ist eine schmale Messingschiene befestigt, dessen eine Kante genau geradlinig ist und scharf durch die Mitte des Tischchens geht.

Das Prisma, von welchem das Brechungs- und Zerstreuungsverhältniß bestimmt werden soll, wird so auf das Tischchen gesetzt, daß die eine brechende Fläche hart gegen die Schiene liegt. An der Seite des Trägers des einen Mikroskopes befindet sich noch ein Vorsprung v Fig. 3, welcher soweit cylindrisch durchbohrt ist, damit man den Zapfen des Beobachtungsfernrohrs ebenfalls da hineinbringen könne; zu welchem Zwecke dieses nöthig ist, darauf werde ich später zurückkommen.

Berichtigung des Instrumentes.

Die Röhren FF' werden mittelst der Zapfen z z' in eine solche Höhe gebracht, daß etwa drei Viertel der Objectivöffnung von dem Prisma bedeckt wird, welches auf das Tischchen T gestellt und zu diesen Messungen gebraucht werden soll. Durch Drehung des Kreises K

bringt man das Beobachtungsfernrohr dem Rohre F, welches den Spalt trägt, gegenüber, und mittelst der Mikrometerschraube, welche mit dem Kreuze in Verbindung steht, nachdem man den Kreis geklemmt hat, wird bewirkt, daß das Fadenkreuz und der Lichtspalt in eine verticale Ebene zu stehen kommen, nachdem man zuvor sowohl den Lichtspalt, als auch das Fadenkreuz durch Drehung der Ocularröhren, für sich vertical gestellt hat.

Das zur Beobachtung anzuwendende Prisma wird so auf das Tischchen T gestellt, wie oben angegeben ist, und man dreht nun die Scheibe S so lange, bis die durch die Mitte des Tischchens gehende Ebene des Prisma's nahe senkrecht gegen das Beobachtungsfernrohr steht. Mit Hülfe einer kleinen Lampe beleuchtet man das Fadenkreuz und dreht nun die Scheibe S so lange, bis das reflectirte Bild des Fadenkreuzes deutlich und scharf erscheint. Man erkennt hierbei sogleich, ob die betreffende Ebene des Prisma's normal gegen die optische Axe des Fernrohrs stehe, und berichtigt den sich zeigenden Fehler durch die Spitzschrauben des Tischchens T soweit, daß sowohl der Horizontalfaden als auch der Verticalfaden von dem reflectirten gedeckt werden. Wird nun die Scheibe S weiter gedreht, bis man in der zweiten Fläche des Prisma's das reflectirte Fadenkreuz erblickt, so steht diese Fläche ebenfalls normal, wenn die Fadenkreuze sich auch hier decken. Weicht oben der reflectirte Horizontalfaden von dem wirklichen ab, so steht die optische Axe des Fernrohrs nicht senkrecht gegen die Drehungsaxe des Kreises und die Hälfte dieser Abweichung wird mittelst der Schraube r, welche unter dem Fernrohre sitzt, berichtigt; die andere Hälfte wieder durch die Spitzschrauben des Tischchens T. Diese Operation wird mehrmals wiederholt, jedoch überzeugt man sich bald, daß bei einer zweimaligen Wiederholung der Fehler leicht auf Null zu bringen ist. Es sind also nun die beiden Flächen des Prisma's parallel mit der Drehungsaxe des Kreises und diese senkrecht gegen die optische Axe des Fernrohrs. Da das Objectiv des Fernrohrs

nur ungefähr ⅔ von der Fläche des Prisma's bedeckt wird, so kann man über dem Prisma hinweg den Lichtspalt noch vollständig sehen, und indem das Fadenkreuz scharf auf den Lichtspalt eingestellt ist und die Fläche des Prisma's normal gegen die optische Axe des Beobachtungsfernrohres steht, ist das Instrument zur Messung der fixen Linien im Sonnenspectrum vorbereitet. Fällt nun das Licht der Sonne durch den Spalt, so lüftet man die Klemmschraube des Kreises K und dreht denselben, also gleichzeitig das Beobachtungsfernrohr und das Prisma, bis das Sonnenspectrum im Beobachtungsrohre erscheint und stellt nun successive auf die dunkeln Linien ein, deren angulare Werthe, wie schon gesagt, durch den Index und durch die Mikrometer-Mikroskope abgelesen werden. Das Instrument wird so aufgestellt, daß das Rohr F durch eine Oeffnung im Fensterladen oder in der Wand gesteckt werden kann. so daß der Beobachter nicht weiter durch das Licht, welches vom Heliostaten kommt, belästigt wird und in einem vollständig finsteren Zimmer seine Beobachtungen machen kann.

Um die großen Kosten, welche der Heliostat verursacht, zu vermeiden, hat M. ein einfaches Instrument zu diesem Zwecke construirt, dessen nähere Beschreibung am Schlusse dieses folgen soll.

Um aus den angemessenen angularen Werthen der dunkeln Linie ein Resultat über das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen des angewandten Prisma's ziehen zu können, ist noch die genaue Kenntniß des brechenden Winkels des Prisma's erforderlich. Diese Bestimmung läßt sich mit einem Instrumente auf zwei verschiedene Weisen vornehmen. Zu diesem Zwecke nimmt man das Beobachtungsfernrohr mit seinem Zapfen z' aus b' und steckt den Zapfen in den Vorsprung v Fig. 3, dreht das Fernrohr, daß das Objectiv dem Centro des Kreises zugekehrt, und das ganze Rohr nach dem bloßen Augenmaße durch die Mitte des Kreises geht. Man kann nun den Lichtspalt als Object betrachten und läßt

denselben, indem man die Scheibe S mit dem Prisma dreht, in das Beobachtungs-Fernrohr reflectiren, und stellt mit der Mikrometerschraube scharf ein. Lüftet man nun die Klemmschraube des Kreises K und bringt durch Drehung des Kreises die zweite Fläche dahin, daß man den reflectirten Spalt beobachten und einstellen kann, so ist alsdann der Winkel des Prismas $\pm$ 180° — φ, wo φ die Anzahl Grade, Minuten und Sekunden sind, welche man an der Theilung des Kreises abliest. Dieser Winkel läßt sich nun repetiren, indem die Scheibe S für sich und wieder gemeinschaftlich mit dem Kreise K drehbar ist. Die zweite Methode, um diesen Winkel zu bestimmen, besteht darin, daß man nur das Beobachtungs-Fernrohr anwendet, indem man das Prisma normal gegen das Fernrohr stellt und auch hier das reflectirte Fadenkreuz beobachtet; dasselbe gilt von der zweiten Fläche, und wenn auch hier φ die abgelesene Theilung bedeutet, so ist ebenfalls der brechende Winkel des Prismas $= \pm$ 180° — φ. Auch hierbei läßt sich die Repetitionsmethode anwenden und giebt höchst befriedigende Resultate.

Beschreibung des Heliostaten.

Die Axe E (Fig. 4), welche den Spiegel O trägt und parallel zur Weltaxe sein soll, wird durch ein gewöhnliches Uhrwerk einer Taschenuhr gedreht. Es ist nämlich unten an der Axe ein Rad R befestigt, welches in das Getriebe des Mittelrades der Taschenuhr eingreift und den doppelten Durchmesser, also auch die doppelte Anzahl Zähne hat, als das Stundenrad der Uhr. Es wird demnach dieses Rad und mit ihm die Axe in 24 Stunden einmal eine ganze Umdrehung machen. An dem oberen Ende der Axe befindet sich eine Gabel, welche als Lager für die Spiegelzapfen des Spiegels O dient. An der einen Seite dieser Zapfen ist ein Deklinationskreis und an der andern ein Gegengewicht, sowie auch

eine Mutter, um den Spiegel auch in einer jeden Lage festzuklemmen. Das Licht, welches vom Heliostaten reflectirt wird, wenn die Axe desselben im Meridian und der Spiegel nach der Declination der Sonne gestellt ist, wird von einem Hülfsspiegel H aufgefangen, welcher mit dem Rohre des Lichtspaltes des vorhin beschriebenen Instrumentes der Art in Verbindung steht, daß man den Spiegel sowohl um die Axe dieses Rohres, als auch senkrecht gegen diese Axe drehen kann. Von diesem Hülfsspiegel ist genau im Durchschnittspunkte dieser beiden Drehungen die Folie soviel weggenommen, wie die Spitze einer feinen Nadel beträgt. Zur richtigen Stellung dieses Hülfsspiegels bedeckt man die Mitte des Heliostatenspiegels durch eine kleine runde Scheibe Papier und bewegt (nachdem man vorher durch die kleine Oeffnung im Hülfsspiegel Licht vom Heliostatenspiegel erhalten hat) um den Hülfsspiegel der Art, bis daß das über die nicht folirte Stelle befindliche Auge kein Licht vom Heliostatenspiegel mehr erhält. Nimmt man nun die Papierscheibe weg, so wird das Licht von diesem Spiegel durch den Spalt geschickt und in dem Beobachtungs-Fernrohre wahrgenommen werden. Diese Stellung des Hülfsspiegels ist leicht gemacht; sie braucht auch nur einmal gemacht zu werden, da nur die Einstellung des Spiegels am Heliostaten von der Declination der Sonne abhängig ist.

Nicht uninteressant ist es, daß es in der neuern Zeit gelungen ist, ohne Hülfe des Prismas die Brechungsverhältnisse von Substanzen, namentlich auch von Glas zu ermitteln. Denn abgesehen davon, daß wir im Stande sind, die Beobachtungen so genau als nur möglich zu machen, wird der so sehr complicirte Apparat vereinfacht und dadurch werden Mühe und Kosten erspart. Es dürfte deshalb nicht unnütz erscheinen, daß wir für den practischen Künstler die Methode, wie sie von Sabler angegeben, folgen lassen und auf die Resultate aufmerksam machen, die dasselbe Gepräge der Ge

nauigkeit an sich tragen, wie die vorhin angeführten, die auf einem schwierigeren Wege gefunden wurden. —

§. 57. Sabler. Bestimmung des Brechungsvermögens ohne Anwendung von Prismen.

Es ist bekannt, daß das Brechungsvermögen durchsichtiger Körper nicht nur dem Optiker ein wichtiges und unentbehrliches Element, sondern auch dem Physiker, Chemiker und Mineralogen als charakteristisches Kennzeichen der zu untersuchenden Stoffe von großem Interesse ist. Aus diesem Grunde ist für die genannten Naturforscher auch die Bestimmung des Brechungsverhältnisses ein so häufig vorkommendes Geschäft, daß es nicht überflüssig erscheinen wird, wenn wir zu den bekannten Methoden der Bestimmung desselben noch eine neue hinzufügen, die sich nicht nur durch Genauigkeit und praktische Leichtigkeit der Ausführung, sondern auch außerdem durch einen Vortheil auszeichnet, der den früher gebräuchlichen Methoden nicht eigen ist, worauf die Ueberschrift dieses Aufsatzes hindeutet.

Es kommt nämlich in den meisten Fällen auf die Bestimmung des mittleren Brechungsverhältnisses an. So ist, um einen hierher gehörigen wichtigen Fall aus der Dioptrik anzuführen, die Kenntniß des mittleren Brechungsverhältnisses der zu verwendenden Gläser bei der Berechnung achromatischer Objective für die Correction der sphärischen Abweichung unumgänglich nothwendig. Das beste der bisher gebrauchten Mittel zu dieser Bestimmung bleibt immer das Prisma. Da durch dasselbe der Lichtstrahl aber nicht nur gebrochen, sondern auch in Farben zerlegt wird, so entsteht die Frage, welchen von den zerlegten Strahlen wir als den von mittlerer Brechbarkeit ansehen sollen. Müssen wir uns an die Mitte des an seinen Grenzen immer so unbestimmten Spectrums halten, oder sollen wir die Stelle der größten Intensität vorzugsweise berücksichtigen, welche Stelle aber

auch, da die Intensitätscurve bei ihrem Maximum keine scharfe Wendung und außerdem in verschiedenen Stoffen eine verschiedene Form hat, einigermaßen unbestimmt bleibt. Zwar ist bei Fraunhofer's großer Entdeckung der festen Linien im Spectrum die Bestimmung der Brechbarkeit dieser Linien einer außerordentlichen Genauigkeit fähig geworden, aber dennoch dadurch für die Kenntniß des mittleren Brechungsverhältnisses wenig gewonnen. Man begnügt sich gewöhnlich damit, beim Prisma eine gewisse mittlere Farbe, z. B. das Grün, als die der mittleren Brechbarkeit anzunehmen, welche Annahme aber, wie man aus Erfahrung weiß, immer noch eine bedeutende Unbestimmtheit und Unsicherheit in den erhaltenen Resultaten zurückläßt.

Könnten wir uns ein einfaches Prisma denken, das den weißen Lichtstrahl blos bräche, ohne ihn in Farben zu spalten, so würden wir durch dasselbe das mittlere Brechungsvermögen des Stoffes, woraus das Prisma besteht, worauf es uns ankommt, mit aller Schärfe erhalten. Mit welcher Genauigkeit läßt sich z. B. nicht in einem achromatischen Doppelprisma die Ablenkung des Lichtstrahls beobachten! Ein solches einfaches Prisma ist freilich undenkbar, es giebt aber ein anderes Phänomen der Brechung, wobei zwar auch eine Zerlegung stattfindet, die aber auf die Beobachtung von unmerklichem Einfluß ist, und das dennoch in seinem Resultate beträchtlich genug ist, um uns das gewünschte mittlere Brechungsverhältniß mit großer Genauigkeit zu geben. Es ist die Brechung durch parallele Flächen (Taf. XIV, Fig. 8).

Denken wir uns von den Endpunkten eines Gegenstandes AB divergirende Lichtstrahlen BC, BD und AC, AD ausfahrend, welche, von der Linse CD (die das Auge repräsentiren kann) aufgefangen, ein verkehrtes Bild des Gegenstandes AB formiren. Setzen wir alsdann den durchsichtigen Körper EF mit parallelen Flächen zwischen den Gegenstand und die Linse, so werden die senkrechten Strahlen BC, AD ungebrochen durchgehen; BD

und AC aber in G nach K gebrochen, treten parallel mit ihrer ursprünglichen Richtung heraus und beschreiben die Wege KD′, KC′. Die Spitzen der Strahlenkegel fallen nun nach B′, A′, und der Gegenstand AB hat daher durch das Zwischensetzen des Körpers EF eine scheinbare Verrückung BB′ — AA′ erfahren. Soll jetzt das Bild ab in derselben Größe und Distanz von der Linse als früher erscheinen, so muß letztere offenbar um dieselbe Quantität CC′ = AA′ — GL verrückt werden, wodurch das neue Bild a′ b′ entsteht. Die Größe dieser Verrückung CC′, die wir mit α bezeichnen wollen, hängt ab von der Dicke des durchsichtigen Körpers GH = β und von seinem Brechungsvermögen = μ, und es findet zwischen diesen drei Größen folgende einfache Relation statt:

$$\mu = \frac{\beta}{\beta - \alpha}.$$

Nennen wir, um dieses zu beweisen, den Einfallswinkel MGH = ε, den Brechungswinkel KGH = ϱ, so haben wir HM : HK = HG : HL = $\beta : (\beta - a) =$ tang. ε : tang. δ.

Aber: $$\sin. \varepsilon = \mu \sin. \varrho,$$

daher: $$\text{tang. } \varepsilon = \frac{\mu \sin. \varrho}{\cos. \varepsilon}; \text{ uud tang. } \varrho = \frac{\sin. \varepsilon}{\mu \cos. \varrho}$$

Also: $$\frac{\beta}{\beta - \alpha} = \frac{\mu^2 \sin. \varrho \cdot \cos. \varrho}{\sin. \varepsilon \cos. \varepsilon}.$$

Substituirt man in diesem Ausdruck für sin. ε seinen Werth = μ sin. ϱ, so erhält man:

$$\frac{\beta}{\beta - \alpha} = \mu \cdot \frac{\cos. \varrho}{\cos. \varepsilon},$$

und: $$\mu = \frac{\beta}{\beta - \alpha} \cdot \left(\frac{\cos. \varepsilon}{\cos. \varrho}\right).$$

Den Ausdruck in der Parenthese können wir aber unbedenklich = 1 setzen, denn der Einfallswinkel braucht in der Praxis nie größer als 1°, und kann nach Belieben noch kleiner genommen werden. Alsdann differirt der

Factor $\frac{\cos. \varepsilon}{\cos. \rho}$ von der Einheit erst in der fünften Decimale, die wir beim Brechungsverhältniß doch nie sicher angeben können. Für die Praxis genügt daher vollkommen die einfache Formel

$$\mu = \frac{\beta}{\beta - \alpha}.$$

Wir wollen jetzt die Anwendbarkeit dieser Methode zunächst für den am häufigsten vorkommenden Fall bei Glasarten zeigen, obgleich ihre Anwendung bei übrigen durchsichtigen Körpern, auch Flüssigkeiten und Luftarten nichts im Wege steht, wenn man sie nur in geeigneten Behältnissen, welche mit kleinen, sich gegenüber stehenden parallelen Glasscheiben versehen sind, einschließt. Es kommt also nur darauf an, die Größen α und β genau zu messen. Man übersieht sogleich, daß die unvermeidlichen kleinen Fehler dieser Messungen einen desto geringeren Einfluß haben werden, je größer α und β selbst sind. Hat man daher eine Glasscheibe, deren Brechungsverhältniß man bestimmen will, so ist es immer am vortheilhaftesten, an den schmalen Kanten derselben zwei sich gegenüberstehende parallele Planflächen anzuschleifen, die übrigens nur einige Linien groß zu sein brauchen. Ja man pflegt ohnehin schon solche Facetten zum Behuf der Untersuchung der Reinheit und Wellenlosigkeit der Glasarten, die man zu guten achromatischen Objectiven verwenden will, an denselben anzuschleifen, und sie können so einen doppelten Zweck erfüllen. Hierzu kommt noch, daß die optischen Künstler häufig nur eine einzige größere Scheibe von den Glassorten, wie sie in den Verkauf kommen, besitzen und diese nicht gerne durch die immer gefährliche Absprengung eines Stückes, um daraus ein Prisma zu formen, verderben und verkleinern werden. — Die Messung der Größe β oder der Dicke des Glases von der Mitte der kleinen Planfläche bis zur andern, hat keine Schwierigkeit und geschieht am besten mit Hülfe eines Tastirzirkels mit feinen Spitzen

und eines guten eingetheilten Maßstabes. Zur Messung der Größe a bedient man sich mit Vortheil eines Mikroskops, das keine zu kurze Sehweite haben darf. S. findet hierzu am zweckmäßigsten ein kleines achromatisches Objectiv von etwa 3 Zoll Brennweite, das 4 Linien Oeffnung haben kann, mit einem stark vergrößernden astronomischen Ocular durch ein verschiebbares Auszugsrohr verbunden. Stellt man letzteres so, daß das Objectiv vom Ocular 7,5 Zoll absteht, so beträgt die Sehweite des Mikroskops 5 Zoll, was für die meisten Messungen an Gläsern bis 5 Zoll Durchmesser passend ist. Hat man noch größere Gläser zu messen, so kann man durch Verminderung der Länge des Mikroskops seine Sehweite verlängern. Es ist aber immer vortheilhaft, diese Sehweite so kurz als möglich zu machen, weil die Einstellung eine desto schärfere ist. Hat man sich nun ein solches Mikroskop hergerichtet, so stelle man es horizontal gegen eine gut beleuchtete, senkrechte, weiße Fläche, auf der man ein kleines schwarzes Object etwa 1 Linie im Durchmesser oder kleiner gezeichnet. Man verstelle jetzt das Mikroskop, bis man den Gegenstand mit möglichster Deutlichkeit erblickt, und merke sich diese Stelle. Setzt man jetzt das zu untersuchende Glas zwischen das unverrückt stehende Object und das Mikroskop, so muß man letzteres um die Quantität a von der Fläche entfernen, um den Gegenstand wieder deutlich zu sehen. Die Größe dieser Verschiebung a kann man an der horizontalen Unterlage mit einem Zirkel messen, besser und genauer aber erhält man sie, wenn man das Mikroskop so einrichtet, daß es sich durch eine Mikrometerschraube mit eingetheiltem Kopfe verschieben läßt und den Linearwerth dieser Schraube, die keine zu feinen Gewinde haben muß, bestimmt.

S. hatte nach dieser Methode das Brechungsverhältniß für mehrere Glasscheiben von 1,5 bis 4 Zoll Durchmesser bestimmt und sehr gut stimmende Resultate erhalten. Als Beispiel wollen wir hier die Messungen einer vierzolligen Kron- und Flintglasscheibe anführen.

I. Schweizer Kronglas, schwach grünlich.
(Spec. Gewicht = 2,476).

	β		α		μ
I. Messung	3,854	Zoll	1,302	Zoll	1,5116
II. „	3,840	„	1,300	„	1,5118
III. „	3,837	„	1,295	„	1,5094
IV. „	3,845	„	1,300	„	1,5108
V. „	3,835	„	1,295	„	1,5099

Mittel μ = 1,5107,
wahrscheinlicher Fehler = 0,0003.

Aus einem Stückchen desselben Glases hatte sich S. früher ein Prisma gemacht, und fand das Brechungsverhältniß für den gelbgrünen Strahl = 1,5097.

II. Schweizer Flintglas, weiß.
(Spec. Gewicht = 3,497).

	β		α		μ
I. Messung	3,915	Zoll	1,475	Zoll	1,6045
II. „	3,915	„	1,477	„	1,6058
III. „	3,920	„	1,480	„	1,6066
IV. „	3,915	„	1,475	„	1,6045
V. „	3,920	„	1,475	„	1,6033

Mittel μ = 1,6049,
wahrscheinlicher Fehler = 0,00035.

Vermittelst eines Prisma von demselben Glase fand S. das Brechungsverhältniß für den gelbgrünen Strahl = 1,606.

Man sieht aus diesen Beispielen, wie genau sich die Brechungsverhältnisse so erhalten lassen. Wir glauben daher, daß diese Methode besonders practischen Optikern willkommen sein wird, da die Beobachtung und Rech-

nung hierbei so einfach ist und man dazu nur ein kleines Fernrohr braucht, ohne weder der Bearbeitung von Prismen, noch eines getheilten Kreises zu bedürfen. Auch bei der Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses der beiden Glasarten, die man zu einem Objectiv verwenden will, wird man, wie ich aus Erfahrung weiß, mit Prismen nur ein genähertes Resultat erhalten, und dieses immer viel sicherer durch das Object selbst bestimmen.

Zum Beschluß muß noch auf ein Paar Fehlerquellen aufmerksam gemacht werden, welche die nach dieser Methode erhaltenen Resultate etwas afficiren können, wenn nämlich die Bedingung der parallelen und planen Flächen nicht vollkommen erfüllt ist. Ein kleiner Fehler im Parallelismus hat zwar wenig zu bedeuten, und das Bild erleidet dadurch nur eine kleine seitliche Verstellung, während seine senkrechte Entfernung von der Ebene, worauf der Gegenstand gezeichnet ist, ungeändert bleibt; doch ist es immer gut, wenn man diesen Parallelismus so genau als möglich zu erreichen sucht, damit auch über die Dicke des Glases kein Zweifel übrig bleiben könne. Wichtiger dagegen ist der Fehler in der Ebenheit der kleinen Flächen, weil dadurch das Bild in eine falsche Entfernung fällt. Auf folgende Art kann man indessen diesen Fehler, wenn er vorhanden ist, erkennen und seinen Einfluß in Rechnung tragen.

Man nehme ein etwas größeres gutes Fernrohr etwa von 12 Zoll Brennweite mit keiner zu starken Vergrößerung zur Hand, und verdecke das Object, so daß in der Mitte ein kleiner Kreis von 3 bis 4 Linien frei bleibt. Darauf richte man es gegen ein weit entferntes Object und stelle das Ocular möglichst scharf ein. Hält man alsdann das zu untersuchende Glas mit seinen kleinen Parallelflächen vor das Objectiv und sieht wieder nach dem Gegenstande, so wird man diesen nur alsdann vollkommen deutlich erblicken, wenn die beiden kleinen Flächen vollkommen plan sind. Im entgegengesetzten Falle muß man, um das deutliche Bild zu erhalten, das Ocular etwas hineinschieben, wenn die Flächen eine kleine

Convexität, oder herausziehen, wenn sie eine kleine Concavität haben. Mißt man diese Verschiebung $= a$ (positiv, wenn das Ocular hineingeschoben wurde) und die Brennweite des Objectivs $= b$ und nennt man die Brennweite der Linse, welche durch die Sphäricität der beiden kleinen Flächen gebildet wird, $= x$, so ist:

$$x = \frac{b \cdot (b - a)}{a}.$$

Es sei nun die Entfernung des Mittelpunktes des nach oben beschriebener Methode zu messenden Glases von dem kleinen Beobachtungsobjecte $= d$, so können wir uns, weil die Dicke des Glases β gegen x immer eine sehr kleine Größe ist, die Sache so denken, als ob zwischen dem Mikroskope und Objecte eine Linse von der Brennweite x stände, deren Wirkung eine scheinbare Versetzung des Objects in die Entfernung d' ist. Alsdann ist

$$d' = \frac{x\,d}{x - d},$$

und die Correction, welche wegen der Sphäricität der kleinen Flächen an die gemessene Quantität x anzubringen ist, $= d' - d$.

Folgendes Beispiel wird die Sache erläutern:

Das oben erwähnte Kronglas wurde vor das Objectiv eines Fernrohrs von 11,9 Zoll Brennweite, das für ein ein entferntes Object eingestellt war, gehalten; es fand sich, daß das Ocular alsdann etwas eingeschoben werden mußte, und zwar um 0,020 Zoll; also war $x = + 0{,}02$; $b = 11{,}9$; folglich

$$x = \frac{11{,}9 \times 11{,}88}{0{,}02} = 7067{,}0 \text{ Zoll}.$$

Bei der Beobachtung des Brechungsverhältnisses betrug die Entfernung der Mitte des Glases vom Object sehr nahe 3 Zoll $= d$, also ist:

$$d' = \frac{7067{,}0 \times 3{,}0}{7064{,}0} = 3{,}0013 \text{ Zoll},$$

und:

$$d' - d = + 0{,}0013 \text{ Zoll}.$$

Bringt man diese Correction an die oben gegebene α an, so erhalten die dort gegebenen μ die entsprechende Correction = + 0,0008, und das Brechungsverhältniß des Glases wird = 1,5115.

Für das Flintglas fand sich a = + 0,025 Zoll; hieraus x = 5652,5 Zoll und endlich d' = 3,0016 Zoll, also beträgt die Correction der gegebenen a = + 0,0016, und das Brechungsverhältniß des Glases wird = 1,6059.

§. 58. Vom Achromatismus.

Prismen, welche die Eigenschaft haben, die Lichtstrahlen abzulenken, ohne sie zugleich in Farben zu zerlegen, nennt man achromatisch, und ebenso entstehen achromatische Linsen, wie wir sie später namentlich noch bei den Fernröhren und Mikroskopen kennen lernen werden, wenn man sie so schleift, daß die Brennpunkte der verschiedenartigen Strahlen sehr genau zusammenfallen; es erscheinen dann die Gegenstände frei von allen farbigen Rändern.

Will man den Achromatismus an Prismen ausführen, so hat man zwei Prismen A und B (Taf. III, Fig. 5) so zusammenzustellen, daß die brechenden Kanten nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind, dann wird das eine Prisma die Wirkungen des andern mehr oder weniger aufheben, je nachdem das Spectrum des zweiten Prisma's eben so breit oder geringer ist, als das des ersten. Man kann die Breite des Spectrums im Allgemeinen dem brechenden Winkel, wenn dieser nicht zu groß ist, gleichsetzen. Hat man nun z. B. ein Kronglasprisma von etwa 25°, so kann man nach dem Vorhergehenden leicht ein Flintglasprisma dem Winkel nach berechnen, das dieselbe Farbenzerstreuung giebt. — Es ist nämlich die totale Dispersion des Flintglasprisma's 2,089 nicht so groß, als die des Kronenglases, folglich

wird der brechende Winkel des Flintglasprisma's $\frac{25^\circ}{2{,}089}$ $= 11^\circ\ 58'$ sein. Zwei solche Prismen also in der vorher angegebenen Weise combinirt, werden keine Farbenzerstreuung hervorbringen.

Es bleibt nun noch eine Untersuchung übrig über die Ablenkung, die das System von Prismen trotz der angestellten Berechnung der Combination erleidet. Es ergiebt sich durch geometrische Betrachtungen, die wir hier nicht weiter ausführen, sondern deren Resultate wir nur angeben wollen, wenn D das Minimum der Ablenkung, a den Einfallswinkel und g den Brechungswinkel des Prisma's bezeichnen:

$$D = 2\,a - g.$$

Für den Fall des Minimums der Ablenkung ist aber der Brechungswinkel $\frac{g}{2}$ und $\sin.\ a = n \cdot \sin.\ \frac{g}{2}$, oder wenn g klein ist, $a = \frac{n \cdot g}{2}$. Somit wird

$$D = g\,(n - 1).$$

Und setzen wir für Kronglas $g = 25^\circ$ $n = 1{,}546$
und für Flintglas $g = 11^\circ\ 58'$ $n = 1{,}671$,
so wird im erstern Falle $D = 13^\circ\ 56'$,
im letztern $D = 8{,}03^\circ$.

Somit ergiebt sich für die Ablenkung die Differenz der gefundenen Werthe $= 5^\circ\ 31'$.

Man ersieht hieraus, daß man zwei, aus verschiedenen Substanzen bestehende Prismen so vereinigen kann, daß eine Ablenkung erfolgt und daß die verschiedenen Strahlen, von den rothen bis zu den violetten, nachdem sie die beiden Prismen durchlaufen haben, nicht divergiren, sondern in derselben Richtung heraustreten. Hierdurch aber wird kein vollkommener Achromatismus hervorgerufen, er ist mangelhaft, und zwar um so mangelhafter, als die Verhältnisse der partiellen Dispersionen von einander abweichen, je mehr die Vertheilung der

Farben im Flintglasspectrum von der im Kronglase verschieden ist. —

Sollen die rothen und die violetten Strahlen gleich stark durch zwei Prismen abgelenkt werden, so haben wir gesehen, daß der brechende Winkel des Flintglasprisma's 2,089 mal kleiner sein muß. Aus der Fraunhofer'schen Tabelle ersieht man indeß, daß der Winkel des Flintglasprisma's 1,900 mal kleiner sein müßte, wenn die Strahlen, welche den Fraunhofer'schen Streifen B und C entsprechen, eine gleiche Ablenkung erleiden sollen. — Ebenso müßte man den Winkel des Prisma's für Flintglas 2,044 mal oder 2,195 mal kleiner machen, um eine gleiche Bedingung für die Strahlen D, E und G und H zu erfüllen. Man ersieht daraus, daß, da die Brechungsexponenten für verschiedenartige Strahlen nicht gleich sind, auch jede Linse für jede andere Strahlenart einen verschiedenen Brennpunkt haben wird; und in der That beweiset die Wahrheit des Gesagten eine Linse (Taf. III, Fig. 6), auf die man parallel der Axe ein weißes Lichtbündel fallen läßt, daß die violetten Strahlen früher in V, die rothen später in R vereinigt werden. In der Mitte, etwa in m n, liegt ein beleuchteter Kreis mit gelbem und rothem Saume, bei r s ist er indeß mit einem ziemlich dunkelblauen Saume umgeben. Malt man nun eine Scheibe so an, daß die eine Hälfte blau, die andere dagegen violett gefärbt erscheint und erleuchtet sie von hinten, nachdem man auf jede Hälfte noch einen schwarzen Strich gezeichnet (Fig. 7), durch eine gute Lampe, so wird man, wenn man das Bild, welches eine 15 bis 20 Fuß entfernte Linse von dem Object erzeugt, auf einem weißen Schirme so auffängt, daß der Strich auf blauem Felde scharf erscheint, die Umrisse des andern verwischt erscheinen und man wird, um den violetten Theil markirt zu sehen, den Schein in seiner Lage verändern müssen. — Wir kommen auf diesen Punkt später bei Gelegenheit der Objective von Petzval zurück. —

Es sei hier schon erwähnt, wie wir es später bei der practischen Anwendung der Linsen noch genauer erfahren werden, daß achromatische Linsen durch Combination einer Converlinse von Kronglas (Taf. III, Figur 8) und einer Zerstreuungslinse von Flintglas hergestellt werden, die eine Zerstreuungsweite hat, welche nahe doppelt so groß als die Brennweite der ersten ist. Hat eine Kronglaslinse eine Brennweite für die mittleren Strahlen von 4,05", so sind die Brennweiten für die rothen und violetten 4,1 und 4,0. Für eine Zerstreuungslinse von Flintglas, deren mittlere Zerstreuungsweite 8,1, beträgt die Zerstreuungsweite für jene breiten Strahlengattungen 8,3 und 7,9. Combinirt man beide Linsen, so wird die Convergenz der rothen Strahlen der erstern nach einem 4,1 Zoll entfernten Punkt durch die zweite verhindert und sie vereinigen sich in der Entfernung 8,102. Ebenso ist es mit den violetten Strahlen, die nicht nach 4,0 convergiren, sondern vermittelst der Zerstreuungslinse von 7,9 in der Entfernung 8,102 vom Glase zusammentreffen. Somit ist 8,102 die Brennweite der achromatischen Linse. Wird die Farbenzerstreuung der ersten Linse durch eine zu stark zerstreuende zweite Linse corrigirt, so ist sie übercorrigirt, entgegengesetzt aber untercorrigirt. —

§. 59. Ueber die prismatischen Farben. — Farbentheorie.

Sahen wir auch früher, als wir das durch ein Prisma gegangene Licht betrachteten, im Allgemeinen, daß das weiße Licht zerlegt wurde und umgekehrt, daß durch Anwendung einer Linse die verschiedenen Farbenstrahlen vereinigt eine weiße Farbe gaben, so sind wir nun, nachdem über Fraunhofer's Linien so ausführlich gesprochen, im Stande, über die für jeden gebildeten Optikus so wichtige Farbentheorie, die durch H.

Helmholtz bedeutend erweitert worden ist, genauere und wichtige Mittheilungen zu machen.

In einen schwarzen Schirm schnitt Helmholtz zwei unter 45° gegen die Verticale geneigte Spalten, welche in Gestalt eines V zusammenstießen, beleuchtete sie mit Tageslicht und zerlegte die durchgehenden Strahlen mit einem reinen, vor dem Objectivglase eines Fernrohres vertical und in der Lage der kleinsten Ablenkung aufgestellten Flintglasprisma. Die schiefen Grenzlinien der parallelogrammförmigen Spectra gehen den Spalten parallel, ebenso die Fraunhofer'schen Linien, A, B, D, E, b, F, G, H, welche man deutlich genug in beiden Farbenbildern bemerkte, und in dem Raume, in welchem beide Spectra übereinanderfallen, stellen sich dem Auge sämmtliche Combinationen aus je zwei einfachen Spectrumsfarben dar.

Bringt man das Prisma durch Drehung um die Axe des Fernrohrs aus der verticalen in eine geneigte Lage, so verschiebt sich das eine Spectrum in ein noch schieferes Parallelogramm und wird lichtstärker, das andere stellt sich mehr aufrecht und wird lichtschwächer, so daß man den zu einer Mischfarbe beitragenden Tönen sehr verschiedenes Verhältniß der Intensität geben kann. — Da die richtige Beurtheilung der Farben, namentlich der helleren, ins Weiße übergehenden Töne beeinträchtigt wird durch andere in der Nähe befindliche, namentlich gesättigte Farben, so isolirte Helmholtz beliebige zu betrachtende Punkte des gefärbten Feldes dadurch, daß er das Auge 1 bis 2 Fuße von dem Ocular entfernte und durch eine in diesem Abstande in einem Schirme angebrachte Oeffnung blickte. Das Auge empfängt so nur einen dünnen, von einer kleinen Stelle des Farbenfeldes ausgegangenen Lichtpinsel. Um die zu der Combination beitragenden Elementarfarben zu sehen, kann man entweder von einem Gehülfen abwechselnd die eine oder die andere der schiefen Spalten bedecken lassen, oder in der Oeffnung des Schirms ein kleines Prisma anbringen, welches dann die beiden Elementarfarben ne-

beneinander stellt. — Bei Betrachtung sehr weißlicher Mischfarben bedarf das Auge öfterer Ruhe, um ein delicates Unterscheidungsvermögen zu behalten.

Folgendes an sich leicht verständliche Schema drückt die Resultate der Beobachtungen von Helmholtz aus:

	Violett	Blau	Grün	Gelb	Roth
Roth	Purpur	Rosa	Mattgelb	Orange	Roth
Gelb	Rosa	Weiß	Gelbgrün	Gelb	
Grün	Blaßblau	Blaugrün	Grün		
Blau	Indigblau	Blau			
Violett	Violett,				

d. h. Roth und Violettt geben Purpur, Roth und Blau Rosa, Gelb und Violett geben Rosa u. s. w.

Das von den seither angenommenen Vorstellungen am meisten abweichende Resultat ist die Mischung von Gelb und Blau zu Weiß. Das angewendete Gelb lag zwischen D und E, dreimal näher bei letzterem, das Blau erstreckte sich von der Mitte zwischen F und G bis G. Durch die genannten Strahlen ist das Spectrum in einen vorzugsweise rothen, einen vorzugsweise grünen und einen violetten Raum abgetheilt. Die Farben des ersten Raumes verbinden sich mit denjenigen des zweiten zu gelben Tönen, mit Uebergängen in Roth, Fleischroth, Weiß und Grün, die Farben des zweiten und dritten Raumes zu blauen Tönen, mit Uebergängen in Grün, Weiß und Violett, die des ersten und dritten Raumes zu Purpurroth, mit Uebergängen in Fleischfarben, Rosa und Violett. Weiß kann nur aus passender Vereinigung von Strahlen aus den drei Räumen entstehen. Helmholtz hat mittelst eines besonderen Apparates mehrere solcher Combinationen dargestellt. Er erhielt Weiß aus Roth, Grün und Violett, welche die folgenden Paare von Complementärfarben liefern:

einfaches Roth und zusammengesetztes mattes Blaugrün,
„ Grün „ „ Purpurroth,
„ Violett „ „ mattes Gelb.

Dem Ansehen nach unterscheiden sich das Blaugrün und Gelb von gewissen prismatischen Farbentönen nur durch

mindere Sättigung; allein die letzteren haben nicht die Eigenschaft, mit einfachem Roth und Violett Weiß zu geben.

Aus Mischung blauer und gelber Farbmaterialien in Pulverform erhält man niemals Weiß, sondern immer Grün. Helmholtz ist der Ansicht, daß die in einer solchen Mischung oberflächlich liegenden blauen Theilchen nur Blau, die gelben nur Gelb reflectiren und diese Strahlen zusammen Weiß geben, daß aber ein Theil des Lichtes durch die erste oder die paar ersten Schichten von Pulverkörnchen dringe und aus dieser Tiefe reflectirt grün zurückkehre, weil die feinen Theilchen des blauen Farbstoffs auch Grün und Violett, die des gelben Farbstoffs auch Roth und Grün durchlassen. — Indem Helmholtz am Umfange eines Farbenkreisels Sectoren von Gummigutti oder Chromgelb mit solchen von Bergblau oder Ultramarin wechseln ließ, in der Mitte des Kreisels aber ein Feld mit der Mischung jener Farbstoffe anlegte, erhielt er hier Grün, während bei der Umdrehung des Kreisels der Rand grau erschien.

Eine sehr einfache und bequeme Methode, welche Helmholtz angiebt, um die Combinationsfarbe aus zwei Tönen in verschiedenem Verhältnisse ihrer Intensität zu beobachten, verdient eine besondere Erwähnung. Man legt auf eine schwarze Unterlage die zwei Pigmentscheibchen, deren man sich bedienen will, etwa zwei farbige Oblaten, und stellt zwischen ihnen vertical eine durchsichtige Spiegelplatte auf. Man kann dann das reflectirte Bild der vorderen Scheibe mit der direct durch die Platte gesehenen hinteren Scheibe leicht zur Deckung bringen und durch Neigen der Spiegelplatte verschiedene Verhältnisse der Intensität beider zu combinirenden Bilder hervorbringen. Auch auf diesem Wege sieht man Blau und Gelb nicht zu Grün, sondern zu Weiß sich vereinigen.

Newton hatte angegeben, daß man jede prismatische Farbe durch Vereinigung der beiden angrenzenden Töne hervorbringen könne. Helmholtz hat dies bestä-

tigt und gefunden, daß die Mischfarbe, gegen die einfache prismatische Farbe gehalten, immer weißlicher und matter wird, je weiter die combinirten Farben von jener abstehen. — Roth und Violett ließ Newton sich im Farbenkreise aneinander schließen und unterwarf sie dem nämlichen Gesetze, wie die anderen Farben. Helmholtz bemerkt, daß die Nachahmung des Violett aus Indigblau und etwas Roth schlecht, die Nachahmung des Roth durch Orange mit Violett noch viel unvollkommener gelinge.

Um alle Farbentöne des Spectrums durch Vereinigung möglichst weniger Farben zu erreichen, braucht man wenigstens fünf Farben, nämlich: Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett. Will man sich auf drei Grundfarben beschränken, so wird man nach dem Vorgange von Young Roth, Grün und Violett wählen müssen, da Roth und Violett sich nicht rein durch Mischung darstellen lassen.

Es ist die Ansicht Brewster's, daß Roth, Gelb und Blau sich über die ganze Länge des Spectrums in verschiedenem Grade der Intensität verbreiten, die Farbe eines Strahls also keineswegs von Schwingungsdauer und Brechbarkeit abhängen solle, die aber ohne besondern Erfolg von Airy, Melloni und Draper bekämpft wurde. Nunmehr hat Helmholtz eine gründliche experimentelle Kritik der Brewster'schen Ansicht gegeben, welcher gegenüber dieselbe sich nicht länger wird behaupten können. Obgleich Brewster nirgends eine detaillirte Beschreibung der Methode gegeben hat, nach welcher er seine Fundamentalbeobachtungen über den Einfluß absorbirender Mittel auf verschiedene Theile des prismatischen Spectrums machte, so theilt doch Helmholtz die Meinung Melloni's und Draper's nicht, daß ein unreines Spectrum, in welchem Farben verschiedener Brechbarkeit sich deckten, die Ursache der besonderen Wahrnehmungen Brewster's gewesen sei. Dagegen macht er aufmerksam auf die Zerstreuung und Reflexion, welche das durch einen Spalt ins dunkle Zimmer drin-

gende Licht an den Oberflächen und in der Masse auch des reinsten Flintglasprisma's, ferner an den Flächen und in der Masse des zwischen Fernrohr und Auge eingeschalteten färbenden Mediums erleide, endlich auf die mehrfachen Reflexionen, welche zwischen eben diesen Flächen und der Oberfläche der Hornhaut eintreten müssen. Seien auch alle diese Einflüsse gering, so reiche dieser unregelmäßig ins Auge gelangende Lichtantheil doch hin, den Ton solcher Farben des Spectrums, welche vorher durch Absorption ebenfalls bedeutend geschwächt seien, merklich zu trüben. Durch Einschalten der färbenden Medien vor dem lichtgebenden Spalt, durch Anwendung sehr vollkommener Flintglasprismen, deren sämmtliche Flächen, mit Ausnahme der beiden brechenden, sorgfältig geschwärzt sind, läßt sich die angegebene Fehlerquelle in hohem Grade schwächen. — Nicht zu beseitigen ist dagegen der Umstand, daß der Netzhaut eine nicht unbedeutende Menge im Innern des Auges zerstreuten und mehrmals zurückgeworfenen Lichtes zukommt, und wenn verschiedenfarbiges Licht gleichzeitig ins Auge dringt, so kann keine der betrachteten Farben vollkommen rein gesehen werden. Ihr Ton wird um so unreiner werden, je mehr ihre eigene Intensität durch Absorption vorher verloren hat. Helmholtz hat den Beweis geführt, daß von diesem Einfluß vornehmlich der Erfolg des Versuchs herrührte, auf welchen Brewster ein vorzügliches Gewicht legt, der nämlich, daß das durch Smalteglas noch sichtbare gelbe Band sich immer mehr ins Weiße zieht, ein je dickeres Glas man anwendet. Ein solches Glas läßt nämlich durch: das äußerste Roth mit den Linien A und B, ein röthliches Orange zwischen C und D, sehr schwach, ein etwas stärkeres gelbes Band, einerseits ins Orange, andererseits ins Graue ziehend, ferner jenseits eines dunkeln Zwischenraumes Blau und Violett, also Farben genug, welche ihre diffusen Strahlen dem Gelb beimischen können, so lange man das ganze Spectrum ins Auge fallen läßt. Auch erhielt Helmholtz in der That das nämliche Resultat, wie Brewster.

Dasselbe fiel aber ganz anders aus, als das Spectrum des ersten Prisma's mittelst einer Linse auf einem Schirme entworfen wurde, welcher durch einen Spalt nur ein schmales Band, etwa das der Absorption durch Smalteglas entgangene Gelb, gehen ließ, so daß der hinter dem Schirme befindliche Beobachter dasselbe mittelst eines zweiten reinen Prisma's auf seine Zusammensetzung untersuchen konnte. Die dem Gelb im ersten Spectrum beigemischten weißen Strahlen hatten keineswegs gleiche Brechbarkeit mit dem Gelb, sondern wurden in ein äußerst lichtschwaches Spectrum zerlegt, in welchem das Gelb rein und glänzend hervortrat.

Merkwürdiger Weise ist ganz gleichzeitig mit der Helmholtz'schen Kritik der Brewster'schen Beobachtungen und der darauf gebauten Schlüsse noch eine zweite von F. Bernard erschienen, in welcher zudem die nämlichen Bedenken und Gegengründe geltend gemacht worden sind. Auch Bernard hat sich überzeugt, welchen Täuschungen man ausgesetzt ist, wenn man das durch Absorption veränderte Spectrum nicht unmittelbar mit dem unveränderten vergleichen kann, und wenn bei Beurtheilung eines Farbentones die durch benachbarte Farben verursachte subjective Wirkung nicht vermieden wird. Er hat ferner wahrgenommen, daß oft schon Intensitätsunterschiede allein einen ungleichen Farbeneindruck bedingen, wie namentlich, daß Orange und Grün bei zunehmender Intensität sich dem Gelb, Gelb und Roth endlich sich dem Weiß zu nähern scheinen; daß bei abnehmender Lichtstärke das Roth in Purpur, das Blau in einen violetten Ton übergeht; daß endlich bei noch größerer Entfernung des Schirms, worauf man das prismatische Spectrum aufgefangen hat, alle Farben verschwinden bis auf einen grau-grünen Streifen, welcher der hellsten Stelle des Spectrums entspricht. Wir wollen hier in das Einzelne der zum Theil sehr sinnreichen Versuche Bernard's, soweit sie nur einen kritischen Zweck haben, nicht eingehen und aus diesem Theile der vorliegenden Arbeit nur noch das Verzeichniß der

absorbirenden Mittel aufnehmen, mit Hülfe deren Bernard einzelne Strahlen aus dem Spectrum isolirte, während alle übrigen durch Absorption zurückgehalten wurden.

1) Manche Gläser lassen nur das äußerste Roth durch; verbindet man weniger dunkle rothe mit blauen Gläsern, so kann man das Spectrum bis auf die jenseits der Linie A liegenden rothen Strahlen auslöschen. Will man den nämlichen Zweck mit gewissen rothen Flüssigkeiten oder mit dichromatischen Mitteln, wie Chromchlorid, schwefelsaures Chromoxyd, Chromalaun erreichen, so muß man noch ein rothes Glas zufügen, um die grünen und blauen Strahlen vollständig wegzunehmen.

2) Um das Orange zwischen C und D allein zu haben, verbindet man ein oder zwei hellrothe Gläser mit einem dunkelgrünen Glase.

3) Das Gelb in der Nähe von B erhält man durch Verbindung einer Lösung von saurem chromsaurem Kali (oder braunem oder orangefarbigem Glase) mit einer Lösung von schwefelsaurem Nickeloxydul (oder grünem Glase) und einem dunkelblauen Glase. Letzteres dient, um die orangefarbenen Strahlen wegzunehmen.

4) Das Grün diesseits der Linie E kann man durch eine Verbindung smaragdgrüner Gläser isoliren. — Das Grün von E bis etwa jenseits F erhält man durch eine Mischung von schwefelsaurem Chromoxyd mit saurem schwefelsaurem Kali, verbunden mit einem hellgrünen Glase.

5) Das Blau beiderseits der Linie F erhält man durch Lösung von Chromalaun mit saurem chromsaurem Kali, verbunden mit einem hellgrünen Glase. — Das Blau zwischen F und G isolirt eine Lösung von Berlinerblau in Oxalsäure. —

6) Eine hinreichend concentrirte Lösung von schwefelsaurem oder salpetersaurem Kupferammoniak läßt die blauen und violetten Strahlen durch.

Bezüglich der Absorptionsgesetze adoptirt Bernard die allgemein angenommene Ansicht, daß die Schwächung des Lichtes nach einer geometrischen Reihe wachse, wenn die Dicke der absorbirenden Schichte in arithmetischer Reihe zunimmt.

§. 60. Ueber die Zusammensetzung der Spectralfarben.

Helmholtz hat auch eine Untersuchung über die Zusammensetzung der Spectralfarben bekannt gemacht. Der Apparat, dessen sich Helmholtz bediente, war im Wesentlichen folgender:

Ein Heliostat warf einen horizontalen Sonnenstrahl in's verfinsterte Zimmer, welcher, nachdem er eine enge Spalte durchdrungen, in größerem Abstande von derselben auf ein Prisma fiel, das seinerseits dicht vor dem achromatischen Objectivglas eines Fernrohrs stand. Ein zwischen Prisma und Objectivglas aufgestellter Schirm fing alles fremdartige Licht weg und ließ nur die Strahlen des Spectrums durch, welche sich im Brennraume des Objectivs zu einem scharf begrenzten prismatischen Bilde der hellen Spalte vereinigten. An dieser Stelle war ebenfalls ein Schirm angebracht mit zwei Spalten, welche durch mikrometrische Bewegung enger oder weiter gemacht und beliebig einander genähert werden konnten. Die Oculargläser des Fernrohrs waren entfernt, und die Strahlen, welche die beiden Spalten durchdrangen, fielen auf eine zweite achromatische Linse von kürzerer Brennweite, als das Objectivglas des Fernrohrs. Sie entwarfen hinter der Linse ein Bild des zwischen Prisma und Objectivglas aufgestellten Diaphragma; der Farbenton dieses auf einem weißen Papierblatte aufgefangenen Bildes zeigte die Mischfarbe aus jenen beiden Strahlen.

Um des Autors Resultate richtig zu verstehen, muß seine nähere Präcisirung der Farbenterminologie voran-

geschickt werden. Violett nennt Helmholtz die Uebergangsstufe des Blau in Roth, in welcher ersteres überwiegt, im Spectrum von G bis H oder C; mit Purpur bezeichnet er die Uebergangsfarben zwischen dem Violett und dem Roth an den Enden des Spectrums, welche mit Weiß gemischt Rosenroth geben. Das Blau rechnet er von F bis G und nennt das weniger brechbare Blau, welches das erste Drittel dieses Raumes einnimmt, Cyanblau, die beiden andern Drittel Indigblau. Newton hatte zwar das erste Coeruleum, Graßmann dasselbe entsprechend Himmelblau genannt; nach Helmholtz aber ist das Himmelblau ein mit Weiß vermischtes Indigblau, weil es, mit reinem Gelb (dem des chromsauren Bleioxyds) durch Spiegelung gemischt, schwarz-röthliches Weiß als Mischfarbe giebt, und keineswegs das schwachgrünliche Weiß, welches die weniger brechbaren blauen Strahlen geben. Das Grün (Farbe des arsenigsauren Kupferoxyds) rechnet Helmholtz von b bis E; als reines Gelb einen Streifen, welcher dreimal soweit von E als von D absteht; die Gegend der Linie D, wo noch das Gelb überwiegt, nennt er Goldgelb; dieses geht zwischen C und D, wo Roth überwiegt, in Orange über; Roth nimmt den Rest des weniger brechbaren Spectrums ein. Dem einfachen äußersten Roth entspricht der Farbenton des Zinnobers, der des Carminpulvers nähert sich schon dem Purpur.

Im Gegensatz zu dem Ergebniß der früheren Untersuchung, in welcher Helmholtz nur Indigblau und Gelb als wahre Complementärfarben erkannt hatte, erhielt er, wenn auch nicht eben so leicht, Weiß aus Mischung folgender Farbenpaare:

Violett . . .	Grünliches Gelb
Indigblau . .	Gelb
Cyanblau . .	Goldgelb
Grünliches Blau	Roth,

so daß das Grün die einzige Farbe ist, welche im Spectrum keine complementäre findet. Um Weiß zu geben,

muß es mit Purpur, also mit noch zwei Spectralfarben, Roth und Violett, gemischt werden.

Schwierigkeiten der Composition zu Weiß erwuchsen aus der für beide Componenten ungleichen Anpassung des Auges, weshalb denn auch Indigblau und Gelb, Cyanblau und Goldgelb sich am leichtesten mischten, weil bei diesen Componenten der Unterschied der Brechbarkeit am kleinsten ist. Bei manchen Compositionen, z. B. bei Grünlichblau mit Roth, ist das Auge besonders empfindlich für ein kleines Uebergewicht in der Stärke des einen Tones, und das Feld erscheint in diesem Falle fast immer fleckig und in beiden Farben alternirend. Auch zeigte sich, was schon Purkinje bemerkte, daß die Seitentheile der Netzhaut eine andere relative Empfindlichkeit für Farbentöne besitzen, als der centrale Fleck. Waren Grünblau und Roth so zu Weiß verbunden, daß das Roth um ein Geringes überwog, so wurde die helle Stelle sogleich entschieden grün, wenn ein neben derselben liegender Punkt des weißen Papiers fixirt wurde. Um bei der genannten Mischung das Weiß unzweideutig zu erkennen, muß man entweder die Lichtstärke überhaupt bedeutend schwächen, oder den Papierschirm etwas außerhalb der Brennweite der zweiten Linse rücken, so daß der gemischte Streif beiderseits von den Componenten gesäumt erscheint. Wie Helmholtz selbst bemerkt, sind dieß übrigens Maßregeln, welche die Entdeckung schwacher Beimischungen zu Weiß erschweren.

Mittelst Beugungsbildern der mit den beiden Componenten gefärbten Doppelspalte maß Helmholtz die Wellenlängen der Complementärfarben, und fand in Milliontheilen des Pariser Zolls:

Farbe	Wellen-länge	Complementärfarbe	Wellenlänge	Verhältniß der Wellenlängen
Roth	2425	Grünblau	1818	1,334
Orange	2244	Blau	1809	1,240
Goldgelb	2162	Blau	1793	1,206
Goldgelb	2120	Blau	1781	1,190
Gelb	2095	Indigblau	1716	1,221
Gelb	2085	Indigblau	1706	1,222
Grüngelb	2082	Violett	von 1600 ab	1,301

Das Verhältniß der Wellenlängen complementärer Componenten schwankt zwischen dem der Quarte und der kleinen Terz, am kleinsten ist es für Goldgelb und Blau. — Merkwürdig ist die Vertheilung der complementären Farben im Spectrum. Während das Goldgelb ziemlich weit vom äußersten Roth absteht, liegen ihre complementären Farben Grünlichblau und Cyanblau dicht neben einander; während das äußerste Violett und das Indigo einen breiten Raum im Spectrum einnehmen, finden sich ihre Complemente grünliches Gelb und reines Gelb nur in ganz schmalen Streifen. An der Grenze des Grün, sowohl nach dem Gelb, als nach dem Blau hin, sind die Uebergänge in der Färbung so rasch, daß sie bei geringer Vergrößerung des Spectrums ganz zu fehlen scheinen, so daß das Grün scheinbar einerseits an röthliches Orange, andererseits an Himmelblau anstößt.

Zwei complementäre Farben gehen im Allgemeinen nicht in gleicher Lichtstärke in Weiß ein. Um das Verhältniß auszumitteln, maß Helmholtz, nachdem das Weiß in möglichster Vollkommenheit hergestellt war, die

Breite des Spaltes, durch welchen die hellere Farbe drang, verringerte diese Breite dann so weit, bis ein vor das Feld gehaltenes Stäbchen zwei gleich dunkle farbige Schatten entwarf, und maß die Breite dann auf's Neue. Die beiden Breiten gaben annähernd das Verhältniß der Helligkeit beider Componenten in Weiß. Die Resultate fielen übrigens, wie dies nach Dove's Versuchen über die Unterschiede in der Helligkeit von Pigmenten bei verschieden starker Erleuchtung zu erwarten war, bei ungleicher absoluter Lichtstärke verschieden aus. Bei geringer Lichtstärke traten die brechbareren Farben relativ in's Uebergewicht. Die folgenden Zahlen haben daher nur die Bedeutung approximativer Mittelwerthe:

	bei starkem Licht	bei schwachem Licht
Violett : Grüngelb . .	1 : 10	1 : 5
Indigo : Gelb	1 : 4	1 : 3
Cyanblau : Orange . .	1 : 1	1 : 1
Grünblau : Roth . . .	1 : 0,44	1 : 0,44

Freilich sollte hiernach, wenn man zwei Farben bei größerer Lichtstärke zu Weiß gemischt hat, und dann das Licht mäßigt, das weiße Feld sich färben. Helmholtz beobachtete indessen eine solche Färbung nicht, und auch die Erklärung, welche er für das Nichteintreffen dieser Consequenz giebt, erscheint nicht vollkommen befriedigend.

Nach obigen Intensitätsmessungen kommt den einfachen Farben ein ungleicher Grad von Sättigung zu. Violett ist am meisten gesättigt, und die übrigen Farben folgen in der nachstehenden Ordnung:

Roth, Orange,
Violett, Indigblau, Gelb.
Cyanblau, Grün.

Durch die vorstehenden Resultate, insbesondere durch den Nachweis, daß Weiß nicht nur aus Indigblau und Gelb, sondern aus noch andern über das Spectrum

symmetrisch vertheilten Componenten erhalten werde, ist die wesentlichste Verschiedenheit, welche zwischen dem Ergebniß von Helmholtz's erster Untersuchung und der Newton'schen Farbenregel bestand, weggefallen. Indessen weist doch Helmholtz namentlich mit Rücksicht auf die von Graßmann gegebene theoretische Begründung nach, daß diese Regel gemäß den oben mitgetheilten Resultaten modificirt werden müsse. Zunächst können Roth und Violett sich nicht unmittelbar aneinander schließen, sondern es muß Raum für die verschiedenen aus jenen Farben sich mischenden purpurnen Töne, als Complementärfarben dem Grün gegenüber, bleiben. Sodann müssen nach Helmholtz die verschiedenen Farben nicht in gleichem Abstand von einem Pole, sondern in den obigen Intensitätsverhältnissen angemessenen Abständen aufgetragen werden, so daß die Farben nicht im Kreise, sondern in einer in ihren verschiedenen Theilen ungleich stark gekrümmten Curve geordnet erscheinen. Nach den beiden Enden des Spectrums geben benachbarte Farben Mischungen vom Tone der dazwischenliegenden Farbe und ziemlich gesättigter Färbung; dem entsprechend ist die Curve in diesen Theilen wenig gekrümmt. In der Gegend des Grün geben Töne, welche nicht weit voneinander abstehen, wie z. B. Grüngelb und Grünblau, schon ziemlich weißliche Mischungen; dem entspricht die stärkere Krümmung der Curve.

Um die Ansicht Graßmann's zu prüfen, wonach die Complementärfarbe zu Grün in den brechbarsten, sogenannten überviolettten Strahlen zu finden sei, welche er mit Berufung auf eine Beobachtung von Haßenfratz für purpurfarbig hält, betrachtete Helmholtz diese Strahlen mittelst des oben beschriebenen Apparates. Bei Anwendung von Prismen und Linsen aus Glas konnte er das überviolette Licht bis zur Liniengruppe p, bei Anwendung von Prismen und Linsen aus Quarz aber so weit, als mit Chininlösung präparirtes Papier das Dasein von Strahlen verrieth, auch mit den Augen unmittelbar wahrnehmen. Bei sehr geringer Intensität

erschien alles dieses, sonst auch „unsichtbare Strahlen“ genannte Licht schwach Violett oder selbst schwach Rosa, bei zunehmender Lichtstärke aber färbte es sich Indigblau, mit immer wachsender Beimischung von Weiß; und zwar gilt dieses gleichmäßig für die Strahlen von der Linie l an bis an's äußerste Ende des übervioletten Lichtes.

Da man in dieser Region eigentlich verschiedene purpurne Töne in allmäligem Uebergange zu Roth zu erwarten geneigt wäre, so untersuchte Helmholtz, ob etwa die Fluorescenz der Netzhaut die Umänderung der Farbe bedinge. Die besondere Anordnung seines Apparates gestattete ihm, Spuren von Fluorescenz noch an Substanzen zu beobachten, an welchen Stokes solche nicht mehr wahrgenommen hatte, wie z. B. an weißem irdenem Geschirr. Sonnenlicht fiel vom Spiegel des Heliostaten durch eine weite Oeffnung auf eine Quarzlinse, hinter welcher im Abstand der halben Brennweite ein Quarzprisma stand. Das von demselben entworfene Sonnenbild, in der Mitte noch weiß, an den Rändern blau und gelbroth, wurde auf einem Schirm mit breitem Spalt so aufgefangen, daß der sichtbare violette Rand des Sonnenbildes den Spalt gerade berührte und nur übervioletttes Licht durch denselben fiel. Dieses Licht traf in der Entfernung von 4 Fuß auf das zweite Quarzprisma, hinter dem eine Glaslinse von 6 Zoll Brennweite stand. Diese entwarf auf Chininpapier ein sehr schwaches gewöhnliches Spectrum und jenseits des violetten Endes ein blendend helles, blaues Oval, von dem übervioletten Lichte herrührend. Die Netzhaut eines 18 Stunden vorher gestorbenen Mannes zwischen zwei Glastafeln in jenes ovale Feld gebracht, zeigte deutliche Fluorescenz, schwächer als Papier, Leinwand oder Elfenbein, aber stärker als Porzellan. Die Farbe des dispergirten Lichtes war Weiß mit blaugrünem Scheine. Durch das Prisma betrachtet fehlte dem fluorescirenden Flecke das Roth. Helmholtz glaubt nach den ange-

führten Erfahrungen den Schluß ziehen zu können, daß zu der schwachen Empfindung violetter Farbe, welche die überviolletten Strahlen direct erregen, sich die Wahrnehmung des in der Retina durch Fluorescenz erzeugten, grünlich-weißen Lichtes zugeselle, und beide Farbenempfindungen vereinigt die weißlich-indigblaue Färbung geben, welche die überviolletten Strahlen darbieten, wenn sie direct gesehen werden.

Viertes Capitel.

Von der Brechung durch Linsengläser.

---

§. 61. Verschiedene Formen der Linsengläser.

Linsengläser sind nicht dicke Platten, denen man durch Schleifen eine kugelförmige Oberfläche gegeben hat. Sie sind entweder erhaben (convex) oder hohl (concav) und zwar biconvex oder convex-convex, wenn beide Seiten erhaben sind, wie bei der Linse A (Taf. II, Figur 12), oder planconvex, wenn die eine Seite erhaben, die andere aber eben ist, wie bei der Linse B. — Gleichermaßen heißt eine Linse concav-concav oder biconcav, wenn sie, wie C, auf beiden Seiten hohl ist, und planconcav, wenn sie auf der einen Seite vertieft, auf der andern aber eben ist, wie D. Dann hat man noch Linsen, die, wie E, auf der einen Seite hohl, auf der andern vertieft sind, und welche man Monde oder Menisken nennt, da man dieses Wort meist nur von solchen Linsen gebraucht, deren erhabene Seite stärker gekrümmt ist, als die hohle, wie dieses beim Monde kurz vor und nach dem Neumonde der Fall ist. Endlich

heißt ein Glas mit zwei parallelen ebenen Flächen, wie F, ein Planglas.

Oft drückt man durch die bloße Benennung die Stellung der Linse aus, je nachdem nämlich die eine oder andere Seite dem Gegenstande, welchen man durch die Linse betrachtet, zugekehrt ist. So heißt z. B. ein Glas convexplan, wenn die convexe Seite dem Gegenstande, die ebene aber dem Auge sich zuwendet, hingegen planconvex im entgegengesetzten Fall. Auf gleiche Weise sind auch die Ausdrücke concavplan und planconcav, convexconcav und concavconvex zu deuten; ein Glas, welches auf beiden Seiten gleichviel erhaben, oder gleichviel vertieft ist, d. h. wenn beide Mal die Halbmesser der Kugeln, nach deren Oberflächen die Seiten der Linse gekrümmt sind, einander gleich sind, nennen wir gleichseitig. Ihrer optischen Natur nach nennt man auch alle biconvexen, planconvexen und convexconcaven Linsen mit stärkerer erhabener Krümmung Sammelgläser, hingegen die biconcaven, planconcaven und convexconcaven Linsen mit stärkerer hohler Krümmung Zerstreuungsgläser.

Man hat nur Linsengläser mit kugelförmigen Oberflächen, weil nur diese Krümmungen sich mit erforderlicher Genauigkeit hervorbringen lassen, obgleich nicht zu läugnen ist, daß anders als sphärisch gekrümmte Oberflächen weit besser dem Zweck entsprechen, den man mit Linsengläsern erreichen will.

Der Umfang einer Linse muß genau kreisrund abgedreht sein.

Die Axe einer Linse ist diejenige gerade Linie, welche die Mittelpunkte K und C (Taf. VII, Fig. 5) der Kugeloberfläche, welche das Glas begrenzen, verbindet. Sie durchschneidet die Oberflächen der Linse in den höchsten Punkten A und B, und wenn jeder dieser Punkte überall von dem kreisrunden Rande gleichweit absteht, so heißt die Linse centrirt. Nur, wenn die Linse genau centrirt ist, ist sie zu optischen Werkzeugen brauchbar, daher wir in den folgenden Betrachtungen keine andern, als

centrirte Linsen voraussetzen. Die convex-convexe oder planconvexe Linse ist richtig centrirt, wenn die Glasplatte soweit abgeschliffen wird, daß die beiden Oberflächen sich schneiden, denn dann bildet der Durchschnitt einen Kreis und die Axe geht gerade durch den Mittelpunkt des Kreises. Wenn aber die Oberflächen einander nicht schneiden, wie das z. B. bei biconcaven oder planconcaven Linsen immer der Fall ist, so wird die Linse nur dann centrirt sein, wenn ihr kreisrund abgedrehter Rand überall gleiche Dicke hat.

Den Punkt in der Mitte einer genau centrirten Linse nennt man den optischen Mittelpunkt.

§. 62. Von den Wirkungen der Sammelgläser.

Wenn man ein Sammelglas z. B. ein Biconvex-Glas gegen die Sonne hält und hinter dasselbe in einer gewissen Entfernung ein Papier bringt, so wird man einen sehr hellen kleinen Kreis bemerken, in welchem das Sonnenlicht zusammengedrängt ist. Man kann durch Entfernung des Papiers vom Glase, oder durch Annäherung an dasselbe diesen Kreis größer und kleiner machen, aber man wird leicht einen solchen Abstand zwischen dem Glase und Papiere finden, bei welchem er am kleinsten und am lichtesten ist, indem dann die Sonnenstrahlen in den engsten Raum zusammengedrängt sind. Hat das Glas eine nicht zu kleine Oberfläche, so werden durch dasselbe so viele Lichtstrahlen in jenem Kreise zusammengedrängt, daß sie heftige Hitze erregen und verbrennliche Körper entzünden. Diese Wirkung ist der bei Hohlspiegeln analog, und man hat daher auch Sammelgläser, insofern ihr Zweck Entzündung durch die Sonnenstrahlen ist: Brenngläser, jenen kreisförmigen kleinsten Kreis aber, in welchem die Entzündung vor sich geht: Brennraum genannt. Da dieser Raum nur geringe Ausdehnung hat, so nennt

man ihn auch wohl einen Punkt, und redet demgemäß von einem Brennpunkte der Sammelgläser, so wie auch von einer Brennweite derselben, welche nichts anderes ist, als diejenige Entfernung vom Glase, in welcher es am heftigsten zu zünden vermag. Hieraus wird auch schon klar, warum man die oben beschriebenen Gläser Sammelgläser genannt hat, weil in der That das Phänomen des Entzündens im Brennraume nicht anders erklärt werden kann, als wenn man annimmt, daß die auf die Oberfläche des Glases zerstreut auffallenden Sonnenstrahlen in dem sehr engen Brennraume wieder vereinigt oder gesammelt werden.

Der Brennraum ist, wie der Brennraum der Hohlspiegel, nichts anderes, als ein Bild der Sonne, nur in verkehrter Lage, was man freilich nicht durch den Anblick bemerken kann, welches wir aber dann mit Bestimmtheit erfahren werden, wenn wir von der Art, wie Linsengläser Bilder erzeugen, weitläuftiger werden gesprochen haben. Man wird auch bemerken, daß die Brennweite, ja selbst der Brennraum bei verschieden gekrümmten Linsen verschieden ist, und es ist daher wichtig zu untersuchen, wie die Lage jenes merkwürdigen Punktes durch die Krümmung bestimmt wird.

Es ist leicht, aus den gegebenen Krümmungen einer Glaslinse und dem Gesetze der Brechung den Weg zu bestimmen, welchen ein Lichtstrahl nehmen muß, wenn er durch die Linse hindurchgeht. Wir wollen bei dem Beispiele der Sonnenstrahlen einstweilen stehen bleiben. Es ist klar, daß alle Strahlen, welche von demselben Punkte der Sonne auf die Oberfläche der Linse fallen, wegen der geringen Breite der Linse, im Vergleich zur Entfernung der Sonne, als parallel angesehen werden können. Es sei ZE (Taf. VII, Fig. 5) ein Sonnenstrahl, welcher aus einem Punkte der Sonne kommt, der in der verlängerten Axe KG liegt, so wird ZE mit KG parallel sein. Zieht man nun nach dem Einfallspunkte E vom Mittelpunkte C der Kugelfläche NAM den Halbmesser CE, so ist derselbe in E senkrecht auf der genann-

ten Kugelfläche, und daher ZED der Einfallswinkel für den Strahl ZE in dem Punkte E. Wenn man also den Winkel CEG so nimmt, daß sein Sinus dem durch das Brechungsverhältniß des Glases dividirten Sinus des Winkels ZED gleich ist, so ist EG die Richtung des gebrochenen Strahls, und dieser muß daher, wie man leicht sieht, mit der Axe in einem Punkte G zusammentreffen. Aber in dieser Richtung geht der in E zum ersten Mal gebrochene Strahl nicht fort, denn indem er auf die Hinterfläche des Glases in dem Punkte I eintrifft, wird er zum zweiten Mal gebrochen. Man ziehe nämlich aus dem Mittelpunkte K der Hinterfläche den Halbmesser KI, das Einfallsloth für den Punkt I, so ist HIG = EIK der Einfallswinkel, und da nun der Strahl aus Glas in Luft übergeht, so wird er vom Perpendikel KH weggebrochen. Seine Richtung IF findet man, wenn man den Winkel HIF so nimmt, daß sein Sinus dem mit dem Brechungsverhältniß des Glases multiplicirten Sinus des Winkels HIG gleich wird. Der mit der Axe parallel auf das Glas auffallende Strahl trifft also mit der Axe in F zusammen.

Sowohl die Zeichnung als die Rechnung beweisen, daß alle Strahlen, welche mit der Axe parallel einfallen, wenn die Brennweite des Glases nicht allzu groß wird, sehr nahe in dem Punkte F zusammentreffen. Dieser Punkt ist daher merkwürdig und wird vorzugsweise Brennpunkt genannt. Er ist nichts anderes, als ein Bild des in der verlängerten Axe liegenden Punktes der Sonne, oder jedes andern sehr weit entlegenen Gegenstandes, weil alle Strahlen, die von diesem Punkte ausgehen, sich wieder in F sammeln, wodurch, wie wir schon gesehen haben, ein Bild entsteht. Diese Zeichnung gilt für eine auf beiden Seiten erhabene Linse, wird aber im Wesentlichen nicht viel anders, wenn die Linse planconvex oder convexconcav ist.

Bei einer convexplanen Linse MN (Taf. VII, Fig. 6) bleibt an der Vorderfläche alles so, wie in (Fig. 5), wenn aber der Strahl bei I an die Hinterfläche gelangt,

so ist das Einfallsloth H I nichts anderes, als ein Perpendikel auf die Ebene MBN und daher mit der Axe parallel. Steht die ebene Seite dem Gegenstande entgegen wie in (Fig. 7) so geht der mit der Axe parallel einfallende Strahl ZE durch das Glas ungebrochen bis an die Hinterfläche hindurch, weil er auf der Vorderfläche senkrecht steht, also mit dem Einfallslothe zusammenfällt. Wenn er aber bei I an die Hinterfläche gelangt ist, so ist ZEK = HIG sein Einfallswinkel, und nun bleibt die Zeichnung wie in Fig. 5. Wird das Glas von einer hohlen Fläche mit eingeschlossen, so ist die Zeichnung ebenfalls nach gleichen Gesetzen leicht auszuführen; die hohle Fläche bringt immer eine Brechung hervor, welche der Brechung durch eine convexe Fläche entgegengesetzt ist; während nämlich diese die Strahlen sammelt, zerstreut jene dieselben so, als ob sie von einem Punkte der Axe ausgingen. Dieses wird sich bestimmter ergeben, wenn wir von der Brechung der Zerstreuungsgläser reden.

Uebrigens geht ein Strahl, welcher mit der Axe K F (Fig. 5) zusammenfällt, ungebrochen durch die Linse hindurch, denn er fällt in A und B mit seinen Einfallslothen zusammem. — Endlich ist es für die Weite des Brennpunktes vom Glase gleichgültig, welche Seite man dem Gegenstande zukehrt, nur andere Rücksichten machen hierin einen bedeutenden Unterschied.

§. 63. Bestimmung der Brennweite bei Sammellinsen.

Die Brennweite einer gleichseitigen Convexlinse ist dem Halbmesser der Kugel gleich, von deren Oberfläche sie begrenzt wird, wenn das Brechungsverhältniß des Glases $\frac{3}{2}$, d. i. $1\frac{1}{2}$ ist. Ist das Glas planconvex, so ist bei demselben Berechnungsverhältniß seine Brennweite dem Durchmesser der Kugel gleich, nach welcher es gekrümmt ist. Da das Brechungsverhältniß des gemei-

nen Glases nicht viel von $\frac{1}{2}$ unterschieden ist, so schätzt man im Allgemeinen die Brennweiten der genannten beiden Linsen oft nach der eben angeführten Regel. Für diejenigen, welche mathematische Formeln lesen können, bemerken wir Folgendes. Ist R der Krümmungshalbmesser der einen, r der andern Fläche der biconvexen Linse, n ihr Brechungsverhältniß, so wird ihre Brennweite p durch die Gleichung berechnet.

$$p = \frac{R\,r}{(n-1)\;(R+r)}.$$

Die Dicke der Linse ist hierbei außer Acht gelassen, weil sie in der That nur einen geringen Einfluß auf die Brennweite ausübt, da sie im Vergleich zu dieser gewöhnlich sehr gering ist.

Ist $n = \frac{3}{2}$, so ist

$$p = \frac{2\,R\,r}{R+r}.$$

Dieses giebt z. B. für $R = 6$ Fuß und $r = 3$ Fuß $p = 4$ Fuß.

Ist die Linse gleichseitig, so ist ihre Brennweite, da dann $R = r$:

$$p = \frac{R}{2\;(n-1)},$$

welches für $n = \frac{3}{2}$ übergeht in

$$p = R.$$

Ist endlich die Linse planconvex, so ist ihre Brennweite

$$p = \frac{R}{n-1}$$

oder für $n = \frac{3}{2}$:

$$p = 2\,R.$$

Wenn die Linse auf einer Seite erhaben, auf der andern hohl, die convexe Krümmung aber stärker ist, als die concave, so bleibt, wie schon bemerkt worden, das Glas immer noch ein Sammelglas. Seine Brennweite berechnet man, wenn R den Halbmesser der erhabenen, r der hohlen Krümmung bedeutet, nach der Formel:

$$p = \frac{R \cdot r}{(n-1)(R-r)}$$

oder wenn $n = \frac{3}{2}$:

$$p = \frac{2 R \cdot r}{r - R}.$$

§. 64. Ueber die durch Sammellinsen erzeugten Bilder.

Wenn man ein Sammelglas, am besten von einer nicht gar zu kurzen Brennweite, in das seiner Größe angemessene Loch eines verfinsterten Zimmers einsetzt und dahinter, ungefähr in der Gegend des Brennpunktes, einen mit weißem Papier überzogenen Schirm stellt, so werden sich auf diesem die außer dem Zimmer befindlichen, genugsam entlegenen Gegenstände mit ungemeiner Deutlichkeit und Lebhaftigkeit verkehrt und verkleinert abmalen.

Man kann leicht durch Verrücken des Schirmes den Ort hinter dem Glase finden, wo sich das Bild eines Gegenstandes am deutlichsten abmalt, und zwar wird man bemerken, daß die Bilder derjenigen Objecte, welche sehr weit entfernt sind, dann sich deutlich abmalen, wenn der Schirm im Brennpunkte des Sammelglases steht. Je näher aber ein Gegenstand ist, desto weiter muß man den Sirm vom Glase abrücken, wenn das Bild deutlich erscheinen soll, und bei ganz nahen Gegenständen wird vielleicht der Raum des Zimmers nicht mehr gestatten, den Schirm so weit vom Glase abzurücken, daß das Bild die erforderliche Deutlichkeit bekommt.

Man kann sich die Art und Weise, wie Bilder durch Sammelgläser hervorgebracht werden, recht bequem in der Nacht durch eine Lichtflamme erläutern, und hierzu bedient man sich am besten eines Glases von nur kurzer Brennweite, die etwa 4 Zoll betragen mag.

Rückt man nun in einem etwas großen Zimmer das Licht vom Glase so weit als möglich ab und hält hinter das letztere ein Papier, so wird man auf demselben in der Gegend des Brennpunktes ein deutliches umgekehrtes und verkleinertes Bild bemerken. Dieses Bild vergrößert sich immer mehr und mehr, je näher man das Glas an das Licht bringt, aber man muß auch zugleich das Papier weiter vom Glase abrücken, wenn das Bild die höchste Deutlichkeit erlangen soll. Beträgt die Entfernung des Lichtes vom Glase gerade 8 Zoll (die doppelte Brennweite), so ist die Entfernung des Bildes vom Glase eben so groß und in dieser Weite muß man also das Papier aufstellen; dabei erscheint das Bild der Flamme mit ihr selbst unter gleicher Größe.

Rückt man das Glas noch näher an das Licht, so muß man das Papier in viel größerem Maße vom Glase abrücken, um ein deutliches Bild zu haben, aber dieses ist nun auch viel größer, als die Flamme selbst und wird immer noch größer und sein Abstand vom Glase ebenfalls größer, je näher man noch das Glas an das Licht anrückt. Dabei bleibt das Bild immer verkehrt.

Bringt man endlich das Licht in den Brennpunkt des Glases, so wird gar kein Bild mehr entstehen, sondern nur ein lichter Kreis, ungefähr so groß, als das Glas, und bei noch größerer Annäherung des Glases an das Licht scheinen die Strahlen nach dem Durchgange durch die Linse sogar zu divergiren und divergiren wirklich, wie wir bald sehen werden.

Das erste, was wir aus diesen Vorgängen zu schließen genöthigt sind, ist das, daß nicht nur diejenigen Strahlen, welche auf das Glas mit der Axe parallel einfallen, wieder mit der Axe zusammenfahren, sondern auch die, welche wegen der Nähe des Objects ziemlich divergiren. Es sei z. B. in (Taf. VII, Fig. 5) X ein in der verlängerten Axe liegender Punkt eines leuchtenden Objects und X E ein von X auf das Glas fallender Strahl.

Macht man für den Strahl XE dieselbe Zeichnung, wie für den Parallelstrahl ZE, so wird sich ergeben, daß er gleichfalls nach seinem Austritt aus dem Glase die Axe trifft, aber in einem vom Glase entferuteren Punkte F', als der Vereinigungspunkt F für den Strahl ZE. Auch werden alle Strahlen, welche von X auf das Glas fallen, sehr nahe wieder in F' zusammengebracht, so daß hier ein Bild des Punktes X entsteht. Je näher aber X an das Glas rückt, desto weiter rückt F' davon ab, und man kann sogar den Punkt X so nahe an das Glas bringen, daß sein Bild in jede beliebige Entfernung hinausfällt. Wie weit das Bild von dem Glase entfernt liegt, hängt also von der Entfernung XA des Objects vom Glase ab, außerdem aber auch von der Brennweite des Glases.

Um die Bildesweite in jedem Falle zu finden, multiplicirt man die Entfernung des Objects vom Glase mit der Brennweite und dividirt das Product durch die Differenz dieser beiden Größen.

Es sei z. B. die Brennweite eines Glases = 2 Zoll, die Entfernung des Objects = 5 Zoll, so ist die Weite des Bildes dadurch zu berechnen, daß man 2 mit 5 multiplicirt, und das Product 10 durch den Unterschied von 2 und 5, d. i. durch 3 dividirt. Sie ist also = $3\frac{1}{3}$ Zoll.

Es sei ferner die Brennweite einer Linse = 6 Linien, die Entfernung des Bildes = $6\frac{1}{2}$ Linien, so geben diese beiden Zahlen mit einander multiplicirt 39, welches mit ihrem Unterschiede, d. i. mit $\frac{1}{2}$ zu dividiren ist, so daß die Bildesweite 76 Linien = 6 Zoll wird.

Diese Rechnung gilt jedoch nur so lange, als die Entfernung des Objects vom Glase größer ist, als dessen Brennweite. Rückt das Object in den Brennpunct, oder noch näher, so entsteht kein Bild mehr.

Nennt man die Entfernung des Objects von Glase a, die Brennweite p, und die Bildesweite B, so ist

$$B = \frac{a\,p}{a - p},$$

in welcher Formel die obige Rechnung enthalten ist.

§. 64a. Berechnung der erzeugten Bildgröße.

So lange also ein Gegenstand weiter vom Glase absteht, als dessen Brennweite, fahren alle Strahlen, die aus einem in der verlängerten Axe liegenden Punkte kommen, wieder mit der Axe in einem Punkte zusammen. Dieses gilt aber auch von denjenigen Punkten des Objects, welche nicht in der Axe liegen, daher von jedem Punkte hinter dem Glase ein deutliches Bild erzeugt wird, und der Inbegriff aller dieser Bilder zusammen macht das Gesammtbild des ganzen Gegenstandes aus. Die Bilder aller einzelnen Punkte müssen in einer Ebene liegen, denn sonst könnte nicht, wie die Erfahrung lehrt, im finstern Zimmer auf der ebenen Fläche des Papieres ein deutliches Bild des ganzen Gegenstandes entstehn.

Daß aber das Bild die umgekehrte Lage hat, geht so zu. Es sei (Taf. VII, Fig. 8) M N ein biconvexes Sammelglas und X F seine Axe, X f aber ein Gegenstand, welcher aus der Axe senkrecht steht. Der in der Axe liegende Punkt X sendet einen Strahlenkegel auf das Glas, welches die zerstreuten Strahlen in F wieder sammelt und dort ein Bild des Punktes X verursacht.

Gleicher Gestalt sendet auch der Punkt f einen Strahlenkegel (den mit punktirten Linien angedeuteten) auf das Glas, welches diese Strahlen ebenfalls wieder sammelt. Wo dieses geschieht, ergiebt sich aus Folgendem. Unter den Strahlen, welche von f ausgehen, ist einer, welcher durch den Mittelpunkt V der Linse geht, und dieser wird so gut wie gar nicht gebrochen; also muß auf der Linse f V f′ das Bild des Punktes f liegen, und hieraus folgt unmittelbar, daß das Bild des Gegenstandes X f die umgekehrte Lage haben muß; errichtet man nun in F auf der Axe X f ein Perpendikel X f′ und

bemerkt den Durchschnitt f' desselben mit der genugsam verlängerten f V, so ist in f' das Bild des Punktes f.

Nunmehr läßt sich auch beurtheilen, wie sich das Bild zu seinem Gegenstande der Größe nach verhalte. Aus der Mitte V der Linse gesehen erscheinen beide unter gleichem Sehewinkel und es muß daher das Bild kleiner sein, als der Gegenstand, wenn die Vereinigungsweite V F (die wir von nun an immer von der Mitte der Linse aus rechnen wollen) kleiner ist als die Entfernung VX des Objects. Wird aber für einen Gegenstand die Bildesweite größer als seine Entfernung vom Glase, so wird auch sein Bild größer, als er selbst. Da nämlich die Dreiecke X V f und V f f' sich ähnlich sind, so verhalten sich die wahren Größen von Bild und Gegenstand wie ihre Entfernungen von der Mitte des Glases.

Wenn z. B. die Bildesweite nur halb so groß ist, als die Entfernung des Objects, so ist auch das Bild nur halb so groß, als das Object; ist aber der Abstand des Bildes doppelt so groß, als der des Objects, so ist auch das Bild doppelt so groß als das Object.

Ist die wahre Größe des Objects h, seine Entfernung von der Mitte des Glases = a und seine Bildesweite B, so ist die Größe des Bildes

$$\frac{B}{a} h,$$

oder wenn man B durch die Brennweite p des Glases und durch a ausdrückt:

$$\frac{p\ h}{a - p}.$$

Es sei z. B. $p = 6$ Linien, $a = 6\frac{1}{4}$ Linien, so ist $a - p = \frac{1}{4}$ Linien und

$$\frac{p\ h}{a - p} = 24\ h.$$

Das Bild ist also 24mal größer, als das Object. Macht man aber bei derselben Brennweite $a = 6\frac{1}{10}$ Li-

nien, so wäre die Größe des Bildes schon 60 b, das Bild also 60mal vergrößert.

Bei sehr weit entlegenen Gegenständen, wie z. B. bei denen, die man durchs Fernrohr betrachtet, drückt man die Größe des Bildes durch den Sehewinkel X V f aus, unter dem das Object aus dem Mittelpunkte des Glases erscheint, da man die wahre Größe und Entfernung des Objects nicht kennt. Nennt man also den Sehewinkel $fVX = FVf' = O$, so ist $f'F = VF$ tang. $O = B \cdot$ tang. O, oder da dergleichen Sehewinkel nur klein sind und sich wie ihre Tangenten verhalten:

$$\text{Größe des Bildes} = B \cdot O.$$

Die Sonne erscheint z. B. unter einem Winkel von 32 Minuten, welcher in Theilen des Halbmessers ausgedrückt

nahe $= \frac{1}{108}$ ist; daher hat man die Größe des

Sonnenbildes $\frac{p}{108}$, d. h. der Durchmesser des Sonnenbildes, welches ein Brennglas hervorbringt, beträgt den 108ten Theil der Brennweite desselben gerade so wie bei Hohlspiegeln.

§. 65. Vergrößerung des Bildes durch Sammellinsen.

Betrachtet man einen Gegenstand durch ein Sammelglas, der in der Brennweite desselben liegt, so sieht man ihn aufrecht und deutlich, und wenn die Linse nur eine kurze Brennweite hat, sehr vergrößert. Es ist nämlich klar, daß ein Strahl, der aus dem Brennpunkte F (Tafel VII, Fig. 5) einer Linse ausgeht, denselben Weg in umgekehrter Richtung machen muß, wie ein Strahl ZE, welcher mit der Axe parallel einfällt und in den Brennpunkt F gelangt. Daher werden alle Strahlen, die aus dem Brennpunkt einer Linse kommen, nach dem Durch-

gange durch dieselbe mit der Axe und folglich auch unter sich parallel; und so wie sich Strahlen, die zwar unter sich, aber nicht mit der Axe parallel sind, nach ihrer Brechung dennoch in einem Punkte hinter dem Glase sammeln, ebenso werden Strahlen, welche von diesem Punkte ausgehen, nachdem sie durch das Glas gegangen, zwar nicht mit der Axe, aber doch unter sich parallel. Ein Auge also muß, wenn es durch Parallelstrahlen deutlich zu sehen vermag, durch das Glas den in dessen Brennpunkte liegenden Gegenstand deutlich erkennen. Daß man aber den Gegenstand aufrecht sieht, geht so zu:

Es sei M N (Taf. VII, Fig. 9) eine Linse und in ihrem Brennpunkte befinde sich ein auf der Axe senkrecht stehendes Object F f, in O ein Auge. Der von f durch die Mitte des Glases gehende Strahl f V wird nicht gebrochen, aber die von f aus fahrenden Strahlen werden in der Richtung so verändert, daß sie mit f V parallel austreten. Hierbei kann aber, wie man leicht sieht, keine Umkehrung des Bildes stattfinden.

Wo nun auch das Auge stehen mag, so empfängt es doch immer die von f und F kommenden Strahlen unter einem Winkel x, welcher eben so groß ist, als ob er aus der Mitte des Glases betrachtet würde. Hierin beruht die Vergrößerung durch Linsen von kurzen Brennweiten.

Das bloße Auge kann nämlich, wie wir gesehen haben, einen Gegenstand nur etwa in Entfernung von 8 Zollen deutlich erkennen, mit Hülfe der Linse kann es ihn aber bis auf die Entfernung VF nahe bringen, und in dem Maß, als die Brennweite VF kleiner ist, als die Weite des deutlichen Sehens, 8 Zoll, in dem Maße wird der Sehewinkel des Gegenstandes vergrößert. Um daher die vergrößernde Kraft einer Linse zu erfahren, dividirt man mit der Brennweite in 8 Zoll, so giebt der Quotient die Vergrößerungen. Man vergesse dabei nicht, die Brennweite von der Mitte des Glases aus zu rechnen.

Es sei z. B. die Brennweite einer Linse = 2 Zoll, so vergrößert sie die Gegenstände 4mal. Ist die Brennweite aber $\frac{1}{4}$ Zoll, so wird eine 32malige Vergrößerung hervorgebracht.

§. 66. Ort des Bildes, wenn das Object zwischen Linse und Brennweite liegt.

Wenn ein Gegenstand X (Taf. VII, Fig. 10) zwischen einem Sammelglase und seinem Brennpunkte f sich befindet, so fahren die Strahlen X I, X A, welche von X divergirend auf das Glas fallen, auch noch nach ihrem Durchgange durch die Linse auseinander, aber nicht mehr so stark, sondern vielmehr so, als kämen sie von einem Punkte X', welcher weiter vom Glase entfernt ist, als X, so daß der ausfahrende Strahl die Richtung I E hat. Ein Auge wird also, wenn es durch solche divergirende Strahlen deutlich zu sehen vermag, den Gegenstand in X' erblicken, obgleich eigentlich von dort her gar keine Strahlen kommen, also auch kein Bild des Gegenstandes X dort befindlich ist. Dieses letztere ist für das Auge ein sehr gleichgültiger Umstand, wie wir schon bei der Betrachtung des Convexspiegels bemerkt haben.

Man sagt daher auch, in X sei ein Scheinbild des Gegenstandes X, im Gegensatze zu den wahren Bildern, welche wirklich vorhanden sind und sich auf der Fläche eines weißen Papiers auffangen lassen.

Man kann die Entfernung A X', aus welcher die von X ausfahrenden Strahlen nach ihrer Brechung durch die Linse herzukommen scheinen, berechnen. Nennt man nämlich die Entfernung X A des Objects vom Glase a, die Brennweite der Linse p, so ist

$$A X' = \frac{a p}{p - a}.$$

Es sei z. B. $p = 4$ Zoll, $AX = a = 3$ Zoll, so ist

$$A\,X' = \frac{3 \cdot 4}{4 - 3} = 12 \text{ Zoll.}$$

Der Punkt X', von dem die gebrochenen Strahlen herzukommen scheinen, liegt also dann 12 Zoll vom Glase entfernt.

In dieser scheinbaren Abrückung des Gegenstandes vom Glase liegt zugleich auch der Grund, warum derselbe etwas vergrößert zu sein scheint, auch dann, wenn die Entfernung A X der Weite des deutlichen Sehens gleich oder noch größer als dieselbe ist. Es könnte nämlich in diesem Falle wohl gar keine Vergrößerung stattfinden, da man mit bloßen Augen den Gegenstand unter demselben Winkel erblickt, als durch das Glas, aber da derselbe scheinbar weiter weggerückt wird, ohne daß sein Sehewinkel sich ändert, so erscheint er auch zugleich vergrößert. Diese Vergrößerung ist also nur eine Täuschung.

§. 67. Ort des Bildes, wenn die Strahlen convergirend auffallen.

Endlich haben wir noch den Fall zu betrachten, wo die Strahlen, wie E I (Taf. VII, Fig. 10) convergent auf das Glas fallen, die Verlängerung von E I also die Axe A X' in einem Punkte X' hinter dem Glase schneiden würde. In diesem Falle convergiren die Strahlen nach ihrem Durchgange durch das Glas nur noch mehr und fahren mit der Axe in einem Punkte X zusammen, welcher immer näher am Glase liegt, als der Brennpunkt F. So entsteht auch in X ein wahres Bild des Gegenstandes, von welchem die convergirenden Strahlen, die auf irgend eine Weise aus dem Zustand der Divergenz in den jetzigen gebracht worden sind, ausgegangen.

Will man hier die Vereinigungsweite berechnen, so muß man die Entfernung A X' des Punktes kennen, nach welchem die auf das Glas fallenden Strahlen ihre

Richtung hinnehmen, oder in welchem der verlängerte Strahl E I die Axe schneidet. Ist A X' = a, die Brennweite des Glases wiederum = p so ist

$$A X = \frac{a p}{a + p}.$$

Wäre z. B. A X' = 4 Zoll, die Brennweite des Glases ebenfalls 4 Zoll, so wäre

$$A X = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = \frac{16}{8} = 2 \text{ Zoll.}$$

Hiermit sind nun die sämmtlichen Fälle erörtert, welche bei Brechungen durch ein einziges Sammelglas vorkommen können.

§. 68. Von den Wirkungen der Zerstreuungsgläser.

Wenn man ein Zerstreuungsglas, z. B. ein biconcaves, gegen die Sonne hält und hinter ihm die hindurchgegangenen Strahlen mit einem weißen Papier auffängt, so wird man nicht, wie bei Sammelgläsern, ein Bild der Sonne erhalten, sondern es wird vielmehr den Anschein haben, als ob die Sonnenstrahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse immer weiter auseinander führen. So wird man auch mittelst des Zerstreuungsglases im verfinsterten Zimmer keine Bilder erhalten können. Betrachtet man aber durch das Glas die gegenüberliegenden Gegenstände, so scheinen sie verkleinert und näher.

Ein Glas von der genannten Art zerstreut auch in der That die Strahlen, sie mögen parallel auf die Oberfläche auffallen, oder schon vor dem Durchgange durch die Linse divergiren. Es sei (Taf. VIII, Fig. 1) M N ein Glas mit zwei hohlen Flächen und G K seine Axe, so geht fürs erste ein Strahl GK, der in der Axe selbst liegt, wie bei Sammelgläsern ungebrochen durch die Linse hindurch. Es sei ferner Z E ein Strahl, der mit der Axe parallel auffällt, so ist, wenn man aus dem

Mittelpunkte C der Vorderfläche nach dem Einfallspunkte E einen Halbmesser CE zieht, ZEC der Einfallswinkel des Strahles ZE in dem Punkte E.

Dieser Strahl wird nun nach dem Perpendikel CE zu gebrochen und seine Richtung EI findet man, wenn man den Winkel ZEG so nimmt, daß sein Sinus dem durch das Brechungsverhältniß dividirten Sinus des Winkels ZEC gleich wird. In dieser Richtung gelangt er bis an die Hinterfläche bei I, und wenn man aus dem Mittelpunkte K dieser Fläche den Halbmesser KI zieht, so hat man ebenfalls den Einfallswinkel GIH.

Nun wird der Strahl, weil er aus Glas in Luft geht, vom Perpendikel KH weggebrochen und seine Richtung FID' findet man, wenn man den Winkel FIH so nimmt, daß sein Sinus dem mit dem Brechungsverhältnisse des Glases multiplicirten Sinus des Winkels GIH gleich wird. Nach dem Austritte aus dem Glase hat daher der Strahl die Richtung ID so, als käme er von dem in der Are liegenden Punkte F. Auf gleiche Weise hat jeder Strahl, der mit der Are parallel auffällt, nachdem er durch das Glas gebrochen worden, eine Richtung, als ob er aus F käme, und hieraus sieht man, daß die gebrochenen Strahlen, je weiter sie fortgehen, desto weiter aus einander fahren, oder zerstreut werden.

Man nennt daher den Punkt F, von welchem aus die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse herzukommen scheinen, den Zerstreuungspunkt und seine Entfernung CA vom Glase die Zerstreuungsweite. Oft bedient man sich auch derselben Ausdrücke, wie bei Sammelgläsern und redet von Brennpunkten Brennweiten, Vereinigungsweiten der Zerstreuungsgläser. Brennpunkte sind aber hier nur eingebildet und bedeuten nichts weiter, als die eben beschriebenen Zerstreuungspunkte.

Die Brennweite eines Zerstreuungsglases ist dessen Zerstreuungsweite für den Fall, daß die Strahlen auf die Linse parallel auffallen, oder von einem Gegenstande herkommen, dessen Entfernung im Vergleiche zur Zer-

streuungsweite ungeheuer groß ist. Es ist hierbei und überall gleichgültig, welche Seite des Glases man dem Gegenstande zukehrt.

Bei einer gleichseitigen Concav-Linse ist die Brennweite dem Krümmungshalbmesser beider Flächen gleich, wenn das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$ ist. Bei demselben Brechungsverhältniß ist die Brennweite einer planconcaven Linse dem Durchmesser der Kugelfläche gleich, nach deren Oberfläche die hohle Seite des Glases geschliffen worden. — Der Brennpunkt, oder vielmehr der Zerstreuungspunkt, ist, wie aus dem Vorigen hervorgeht, auf der Seite zu suchen, woher die Strahlen kommen.

Ueberhaupt werden die Brennweiten der Zerstreuungsgläser ebenso berechnet wie die der Sammelgläser, wenn man nur in den Formeln des §. 62 statt der converen Krümmungshalbmesser sich hohle und statt der hohlen sich convere denkt.

Also ist z. B. die Zerstreuungsweite für ein Glas mit einer hohlen und mit einer schwächer gekrümmten converen Fläche, $= \frac{R\ r}{(n - 1)\ (r - R)}$, wenn r den Krümmungshalbmesser der converen, R den der concaven Fläche bedeutet.

Strahlen, welche divergirend, z. B. von dem in der Are liegenden Punkte X (Taf. VIII, Fig. 2) auf eine Zerstreuungslinie MN fallen, divergiren nach ihrem Durchgange durch das Glas noch mehr, so als ob sie von einem Punkte F herkämen, welcher immer zwischen dem Objecte und dem Glase liegt, wie man sich durch eine nach gleichen Gesetzen wie (Fig. 1) ausgeführte Zeichnung leicht überzeugen kann. Daher scheint es dem durch das Glas durchsehenden Auge, als befände sich in F ein Bild des Punktes F.

Auf gleiche Weise werden auch die Strahlen, welche von einem nicht in der Are liegenden Punkte f des auf der Are senkrecht stehenden Objects XF herkommen, so gebrochen, als kämen sie alle von demselben Punkte f', daher man in f' ein Bild des Punktes f sieht.

Den Punkt f′ findet man, wenn man durch die Mitte des Glases V und durch f eine gerade Linie zieht, in F auf der Axe eine Senkrechte errichtet und ihren Durchschnitt f′ mit Vf bemerkt. Der Strahl fV nämlich, der durch die Mitte der Linse geht, wird nur sehr wenig gebrochen, so daß man ohne merklichen Fehler annehmen darf, er gehe ungebrochen durch die Linse hindurch. So machen auch alle Punkte des Objects Xf ihre Bilder auf Ff′, und es ist daher Ff′ das Gesammtbild von Xf′. Da aber dieses Bild nicht wirklich ist, so nennt man es ein Scheinbild. Betrachtet man Bild und Gegenstand aus der Mitte V des Glases, so werden beide unter gleichem Winkel XVf = FVf′ gesehen. Aber unter demselben Winkel erblickt das Auge das durch diese Linse erzeugte Scheinbild, es mag stehen, wo es will. Steht es z. B. in o, so macht der Strahl ao, der von f kommt, mit dem Strahl bo den Winkel aob und dieser ist gerade so groß, als der Winkel XVf. Also sieht man den Gegenstand mit bloßem Auge unter eben dem Winkel, als sein Scheinbild mittelst des Glases und daher scheint es wunderbar, warum ein Zerstreuungsglas die Gegenstände verkleinert. Diese Verkleinerung ist in der That auch nur eine Täuschung, indem sich hier unser Urtheil über die wahre Größe des Dinges nicht nach dem Sehwinkel richtet. Das Bild Ff′ ist nämlich viel kleiner, als der Gegenstand Xf und daher rührt die Verkleinerung. Man kann die Zerstreuungsweite aus der Entfernung a des Objects vom Glase und der (eingebildeten) Brennweite p desselben berechnen. Man hat nämlich zu diesem Behufe die Formel

$$\frac{a\,p}{a + p},$$

d. h. man findet die Zerstreuungsweite, wenn man die Entfernung des Objects vom Glase mit der Brennweite multiplicirt und das Product durch die Summe dieser Größen dividirt.

Es sei z. B. die Entfernung des Objectes = 12, die Brennweite = 8 Zoll, so ist die Zerstreuungsweite $\frac{12 \times 8}{12 + 8} = \frac{96}{20} = 4\frac{4}{5}$ Zoll.

Scheinbild F f′ und Gegenstand X f verhalten sich ihrer wahren Größe nach, wie ihre Entfernungen V F und V X von der Mitte des Glases. Ist daher die Zerstreuungsweite = B, die Entfernung des Objects wie vorher = a, die Größe des Objects X f = h, so ist wahre Größe des Bildes = $\frac{B\,h}{a}$, oder, wenn man den Sehwinkel X V f = O setzt, wahre Größe des Bildes = B · O, wo O in Theilen des Halbmessers auszudrücken ist.

§. 69. Es ist nun noch zu untersuchen, wie Lichtstrahlen gebrochen werden, welche convergirend auf ein Zerstreuungsglas fallen.

Es müssen hier aber drei Fälle unterschieden werden:

1) Wenn die Strahlen, wie z. B. Z E (Taf. VIII, Fig. 3) so auf das Glas M N fallen, als gingen sie nach einem gemeinschaftlichen Punkte X der Axe, welcher zwischen dem Glas und dem Brennpunkte F (Zerstreuungspunkte für Parallelstrahlen) liegt. In diesem Falle wird die Convergenz der Strahlen durch das Zerstreuungsglas vermindert, und sie vereinigen sich in dem Punkte G, welcher immer weiter vom Glase weg ist, als F. Der Vereinigungspunkt G ist daher ein wirklicher, und es muß in ihm ein wahres Bild von demjenigen Punkte entstehen, von dem die auf irgend eine Art convergirend gemachten Strahlen ausgegangen sind. Es ist hier der umgekehrte Fall des vorigen §. Dort gingen nämlich die Strahlen von einem Punkte G der Axe aus und wurden so gebrochen, daß sie bei ihrem Durchgange durch die Linse von dem Punkte X zu kommen schienen; hier scheinen sie anfangs nach X zu gehen, ge-

hen aber nach dem Austritt aus dem Glase wirklich nach F.

2) Wenn convergirende Strahlen so auf das Glas fallen, daß sie, wie ZE in Taf. VIII, Fig. 4, nach dem Brennpunkte der Linse zu laufen, so haben sie nach dem Austritt aus derselben die Richtung IG, welche mit der Axe AF parallel ist. So wie nämlich Strahlen, welche parallel auf ein Zerstreuungsglas fallen, nach ihrem Austritt aus demselben so zerstreut werden, als kämen sie aus dem Brennpunkte F, ebenso werden Strahlen, welche so auf das Glas fallen, daß sie sämmtlich nach dem Brennpunkte F zu laufen, nachdem sie aus dem Glase herausgetreten sind, mit der Axe parallel.

3) Wenn endlich Strahlen, wie ZE in Taf. VIII, Fig. 5, so auf das Glas fallen, daß sie nach dem Punkte X der Axe zu laufen, welcher weiter hinter dem Glase liegt, als dessen Brennpunkt F, so werden sie beim Austritt aus der Linse zerstreut, als kämen sie von dem Punkte G auf derselben Seite des Glases, auf welcher die Strahlen auffallen. Der Strahl ZE hat also nach der Brechung die Richtung ID. Der Vereinigungspunkt G ist daher in diesem Falle wieder ein Zerstreuungspunkt.

Diese Verhältnisse lassen sich sämmtlich durch eine und dieselbe Formel berechnen. Ist nämlich die Entfernung des Punktes vom Glase, auf welchen die Strahlen beim Eintritt in die Linse zuzulaufen scheinen, wie BX, BF, BX in der Fig. 3, 4 und 5, = a, die Brennweite des Glases = p, so ist die Vereinigungsweite =

$$\frac{a\,p}{p - a}.$$

Diese bleibt wirklich, so lange p > ist als a, welches der in Nr. 1 erläuterte Fall ist. Wenn a = p wird, so ist p — a = o, und der Werth der Vereinigungsweite wird eine unendlich große Zahl, welches so viel sagen will, als daß der austretende gebrochene Strahl mit der Axe parallel ist. Wenn endlich p < als a, so

wird der Nenner p — a negativ und die Vereinigungsweite auch negativ, welches eben so viel sagt, als daß nun der Vereinigungspuukt auf der entgegengesetzten Seite liegt und ein Zerstreuungspunkt geworden ist.

§. 70. Allgemeine Formeln zur Berechnung der Bildweiten bei Linsen.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen bemerke ich noch für Leser von ausgebildeteren mathematischen Kenntnissen, daß in einer Formel alle bei Linsengläsern vorkomenden Brechungen begriffen sind. Ist nämlich die Brennweite eines Sammelglases p, die Entfernung eines strahlenden Punktes = a, so ist die Vereinigungsweite, welche hinter dem Glase liegt, auf der vom Object weggekehrten Seite,

$$\frac{a\,p}{a - p}.$$

Ist nun hier zunächst $a > p$, so behält der Vereinigungspunkt die eben angedeutete Lage; die Vereinigungsweite wird um so größer, je kleiner $a - p$ wird und unendlich groß, d. h. der gebrochene Strahl mit der Axe parallel, wenn $a - p = 0$, also $a = p$ ist. Ist aber $a < p$, so wird die Vereinigungsweite negativ, d. h. der Vereinigungspunkt fällt auf die entgegengesetzte Seite und ist nun ein Zerstreuungspunkt.

Für convergirende Strahlen fällt a auf die entgegengesetzte Seite und ist negativ zu setzen. Schreibt man also — a statt a, so ist die Vereinigungsweite

$$\frac{a\,p}{a + p}.$$

Bei Hohlgläsern wird aber p negativ, daher die ursprüngliche Formel $\frac{a\,p}{a - p}$ übergeht in $\frac{-\,a\,p}{a + p}$. Die Vereinigungsweite fällt also nun, da sie negativ ist, auf die entgegengesetzte Seite, d. h. nicht mehr hinter, son-

dern vor das Glas, und der Vereinigungspunkt ist daher ein Zerstreuungspunkt.

Setzt man in dieser letzten Formel — a statt a, wo dann die Strahlen convergirend auf das Glas fallen, so erhält man

$$\frac{a\,p}{p - a},$$

welches die schon angeführte Formel ist.

§. 71. Brechung durch zwei Sammelgläser.

Es seien zwei Sammelgläser V und W (Taf. VII, Fig. 11) auf ihrer gemeinschaftlichen Axe VF senkrecht aufgestellt. Man fragt, wie ein Strahl ZE gebrochen werde, wenn er durch beide Linsen hindurch geht.

Wir wollen der Einfachheit halber annehmen, daß der Strahl ZE vor der Brechung durch die erste Linse V mit der Axe parallel sei. Dann wissen wir, daß er, nachdem er aus der ersten Linse bei I herausgetreten ist, die Richtung EF hat, welche gerade durch den Brennpunkt F der ersten Linse geht. Bevor er aber nach F gelangt ist, wird er durch die zweite Linse W aufgefangen und von derselben noch stärker nach der Axe hin gebrochen. Hier tritt nämlich der Fall des §. 67 ein, wo ein Strahl IE′ in einer nach der Axe zu convergirenden Richtung auf eine Linse fällt, und darum wird er in einem Punkte F′ mit der Axe vereinigt, welcher noch näher an dem Glase W liegt, als dessen Brennpunkt. So lange also die Entfernung VW beider Linsen kleiner ist, als die Brennweite VF der ersten Linse, wirkt eine solche Verbindung als ein einziges Sammelglas von einer viel kürzeren Brennweite, als die einer jeden Linse ist.

Wenn beide Linsen gleiche Brennweite haben, so ist es natürlich gleichgültig, welche von beiden Linsen voransteht; sind aber die Brennweiten verschieden, so bleibt die Stellung nur für den Fall gleichgültig, wenn

beide Linsen hart an einander liegen und ihre Dicke gegen ihre Brennweiten in keinen Betracht kommt, in welchem letztern Falle auch die Convergenz der Strahlen nach dem Austritt aus der zweiten Linse am stärksten ist, indem dann der Winkel I' F' W, welchen der gebrochene Strahl mit der Axe macht, am größten ist. Haben beide Linsen gleiche Brennweite und liegen sie hart an einander, so wirken sie gerade wie ein Sammelglas, dessen Brennweite nur halb so groß ist.

Nur durch die Rechnung wird es möglich, alle die hier vorkommenden Fälle genauer kennen zu lernen. Es sei darum die Entfernung eines Objectes von der ersten Linse = a, die Brennweite dieser Linse = p, die Brennweite der zweiten Linse = p', der Abstand beider = d. Die Weite VF, in welcher die vom genannten Object ausgehenden Strahlen mit der Axe vereinigt werden würden, findet man aus der Formel:

$$VF = b = \frac{a\,p}{a - p},$$

und dann hat man die Weite WF des Punktes F, hinter welchem die auf das Glas fallenden Strahlen zusammenlaufen würden, wenn sie keine Brechung erlitten, = b — d, daher die Vereinigungsweite nach der Brechung durch das zweite Glas, oder

$$WF' = b' = \frac{p'\,(b - d)}{(b - d) + p')}.$$

Wenn die Strahlen auf das erste Glas parallel auffallen, so ist VF = b die Brennweite dieses Glases und dann ist b — d so viel als p — d, daher auch

$$WF' = b' = \frac{p'\,(p - d)}{p' + (p - d)}.$$

Es sei z. B. die Brennweite des ersten Glases p = 10 Zoll, die des zweiten p' = 6 Zoll, der Abstand beider Gläser d = 3 Zoll, so ist in dem Falle, daß die Strahlen parallel auf das Vorderglas auffallen, V F = der Brennweite dieses Glases = 10 Zoll, und daher WF = 10 Zoll — 3 = 7 Zoll. Daher denn WF'

$= b' = \frac{7 \cdot 6}{7 + 6} = \frac{42}{13} = 3\frac{3}{13}$ Zoll. Wird jetzt, ohne die Entfernung beider Linsen zu ändern, das hintere Glas vor gebracht, so ist **VF** = der Brennweite dieses Glases = p' = 6 Zoll und daher **WF** = 6 Zoll — 3 = 3 Zoll. Folglich $WF' = \frac{3 \cdot 10}{3 + 10} = \frac{30}{13} = 2\frac{4}{13}$ Zoll. Daher geben beide Stellungen einen Unterschied von $3\frac{3}{13} - 2\frac{4}{13} = \frac{12}{13}$ Zoll, also beinahe 1 Zoll.

Liegen die Gläser hart aneinander, so ist ihre Entfernung d = o, also werden Strahlen, die auf das Vorderglas parallel auffallen, in der Entfernung

$$b' = \frac{p\,p'}{p + p'}$$

hinter dem zweiten Glase mit einander vereinigt und hierbei kommt es, wie man leicht sieht, nicht auf die Stellung der Gläser an.

Es sei z. B. wieder p = 10 Zoll, p' = 6 Zoll, so findet sich die Vereinigungsweite von Parallelstrahlen, die durch dieses System gebrochen werden,

$$b' = \frac{10 \cdot 6}{10 + 6} = \frac{60}{16} = \frac{15}{4} = 13\frac{3}{4} \text{ Zoll.}$$

Beide Gläser wirken also wie ein einziges Sammelglas von $3\frac{3}{4}$ Zoll Brennweite.

Sind endlich die Brennweiten beider Gläser gleich, ist also p' = p, so findet sich, daß die Formel

$$b' = \frac{p\,p'}{p + p'} \text{ übergeht in}$$

$$b' = \tfrac{1}{2}\,p,$$

nämlich beide Gläser wirken, wie ein einziges von halb so großer Brennweite.

Es ließen sich noch manche Betrachtungen über die Brechung durch zwei Sammelgläser anstellen, in den Fällen nämlich, wo die Brennweite des einen Glases zwischen beide Gläser fällt. Doch ist es am besten, diese Erörterungen bis dahin zn verschieben, wo die Instru-

mente beschrieben werden, bei denen solche Stellungen der Gläser vorkommen.

§. 72. Größe des Bildes bei zwei Linsen.

Es ist nun noch die Größe des Bildes zu untersuchen, welches durch eine Verbindung von Gläsern, wie die im vorigen §. hervorgebracht wird. Zur Erörterung dieser Frage diene zunächst folgende Zeichnung in Tafel VIII, Fig. 6. Gesetzt, das erste Glas bei V entwerfe von dem auf der Axe senkrecht stehenden Gegenstand AB ein Bild ab, so findet man die Größe dieses Bildes, wenn man in dem Vereinigungspunkte a der aus A kommenden Strahlen ein Perpendikel ab errichtet und dasselbe durch die Linie BV abschneidet, welche durch den äußersten Endpunkt B des Objects und durch den Mittelpunkt V der Linse gezogen wird. Dieses Bild kommt aber nicht zur Wirklichkeit, weil die Strahlen noch vorher von der Linse W aufgefangen werden und dadurch das Bild nach a'b' zurückgezogen wird. Um nun die Größe des wahren Bildes a' b' zu finden, errichtet man in a', dem Vereinigungspunkte der aus A kommenden und durch beide Linsen hindurchgegangenen Strahlen, auf der Axe ein Perpendikel a'b', zieht durch b und den Mittelpunkt W der zweiten Linse die Linie Wb, so ist ihr Durchschnitt b' mit dem Perpendikel a' b' das Bild von B, also a' b' das Gesammtbild von AB. Die Linie bW ist nichts weiter, als der Strahl BEWb, der von B aus auf die erste Linse fällt und von dieser gerade nach dem Mittelpunkte W der zweite zugebrochen wird, so daß er ungebrochen durch diese Linse hindurch geht.

Um hierfür die Rechnung aufzustellen, setzen wir die Entfernung AV des Objects von dem ersten Glase = a, die Vereinigungsweite Va nach der Brechung durch dieses Glas = b und die Höhe des Objects AB = h, so ist

$$ab = h' = \frac{b}{a}\,h,$$

wobei wir den Winkel AVB nur klein voraussetzen. Die Vereinigungsweite b wird aber nach §. 64 berechnet.

Ist nun ferner der Abstand der Gläser VW = d, so ist Wa = b — d. Ferner sei die Vereinigungsweite Wa' nach der zweiten Brechung = b', so hat man die Größe des Bildes a' b', die wir mit h'' bezeichnen wollen, in der Formel:

$$h'' = \frac{b'\,h'}{b - d}.$$

Denn es verhält sich in den ähnlichen Dreiecken aWb und a'Wb', Wa : Wa' = ab : a'b', d. h. b — d : b' = h' : h'', woraus h'' nach der Regel-de-tri sogleich folgt.

Man hat also, um die Größe des Bildes zu finden, folgende Rechnung zu machen:

1) Man berechnet die Vereinigungsweite Va = b nach der Brechung durch das erste Glas mittelst der Formel:

$$b = \frac{a\,p}{a - p},$$

wo p die Brennweite dieses Glases bezeichnet, a und b aber die eben genannten Bedeutungen haben.

2) Dann findet man die Größe des nicht zur Wirklichkeit kommenden Bildes ab, durch die Formel:

$$h' = \frac{b\,h}{a}.$$

3) Man berechnet die Vereinigungsweiten Wa' nach der Brechung durch das zweite Glas mittelst der Formel:

$$b' = \frac{p'\,(b - d)}{p' + (b - d)},$$

wo p' die Brennweite dieses Glases bedeutet.

4) Endlich die Größe h'' des wahren Bildes durch

$$h'' = \frac{b'\,h'}{b - d}.$$

Es sei z. B. $AV = a = 4\frac{1}{6}$ Zoll, $p = 4$ Zoll, so findet sich

$$b = \frac{4 \cdot 4\frac{1}{6}}{4\frac{1}{6} - 4} = 16\frac{2}{3} : \frac{1}{6} = 100 \text{ Zoll},$$

und hieraus

$$h' = \frac{100\,h}{4\frac{1}{6}} = 24\,h.$$

Das nicht zur Wirklichkeit kommende Bild ab wäre also 24 mal größer, als das Object AB. Nun sei $VW = d = 2$ Zoll, $p' = 2$ Zoll, so ist

$$Wa' = b' = \frac{2 \cdot (100 - 2)}{2 + 100 - 2} = \frac{2 \cdot 98}{100} = 1\frac{96}{100} = 1\frac{24}{25} \text{ Zoll}.$$

Daher endlich

$$h'' = \frac{1\frac{24}{25} \cdot h'}{100 - 2} = \frac{49}{25 \times 98}\,h' = \frac{49 \times 24}{25 \times 98}\,h \times \frac{12}{25}\,h,$$

also das Bild etwas kleiner, als halb so groß, als das Object AB.

Wenn die Strahlen parallel auf das erste Glas auffallen, so wird $b = p$ und das Ganze zieht sich, wenn der Winkel BVA, unter welchem das nun unendlich weit entfernte Object aus der Mitte des ersten Glases gesehen wird, $= O$ gesetzt wird, in die Formel zusammen:

$$\text{Größe des Bildes} = h'' = \frac{p\,p'\,O}{p + p' - d},$$

wo O in Theilen des Halbmessers auszudrücken ist.

§. 73. Brechung durch ein Sammelglas mit einem damit verbundenen Zerstreuungsglase.

Es können hier zwei Fälle vorkommen, in denen die Concavlinse einmal vorangesetzt werden kann, wie in Taf. VIII, Fig. 7. Hier bricht zuerst die Concavlinse den mit der Axe parallel einfallenden Strahl ZE so, daß er beim Austritt aus dem Glase die Richtung hat, als käme

er aus dem Zerstreuungspunkte G dieser Linse. Auf gleiche Weise verhält sichs, wenn die Strahlen divergirend auf die Concavlinse fallen. Das Sammelglas W empfängt also divergirende Strahlen, welche aus G zu kommen scheinen, und es kommt nun auf die Lage des Punktes G oder vielmehr auf dessen Entfernung vom Sammelglase W an, wie die Strahlen weiter gebrochen werden. Fällt z. B. der Brennpunkt dieses Glases auch gerade in G, so werden die Strahlen parallel aus ihm austreten; liegt G aber näher an dem Glase W, als sein Brennpunkt, so werden die austretenden Strahlen divergiren, als kämen sie aus einem noch weiter entfernten Punkte, als G. Hier wirkt also die Verbindung beider Gläser als ein Zerstreuungsglas, dessen Brennweite aber größer ist, als die Brennweite des Glases V. — Fällt aber endlich G über den Brennpunkt der Linse W hinaus, so daß GW größer ist, als die Brennweite dieses Glases, so werden die Strahlen nach ihrem Austritt aus der Linse W convergiren und sich mit der Axe in einem Punkte F vereinigen, so daß die Verbindung als Sammelglas wirkt. Es ist aber dann WF immer größer, als die Brennweite des Glases W, so daß durch Vorsetzung des Zerstreuungsglases V die Brennweite des Glases W vergrößert und daher das Bild weiter entfernt wird. Dieses letztere Verhältniß kommt besonders bei der Anwendung von Zerstreuungsgläsern zu Brillen in Frage.

Verlangen wir hier die Vereinigungsweite durch Rechnung zu finden, so setze man die Entfernung des strahlenden Punktes vom Hohlglase = a, dessen Brennweite = p, so ist

$$GV = b = \frac{a\,p}{a + p},$$

$$\text{alsdann } GW = a + d,$$

wenn man die Entfernung VW beider Linsen = d setzt.

Ferner setze man die Brennweite des Glases W = p', so ist die letzte Vereinigungsweite

$$WF = \frac{p' (b + d)}{b + d - p'}.$$

In dem Falle, wo $b + d < p'$, also der Nenner $b + d - p'$ negativ wird, gehen die Strahlen divergirend aus dem Sammelglase und WF wird eine Zerstreuungsweite, die auf der entgegengesetzten Seite des Glases, also in gegenwärtiger Zeichnung links zu suchen ist, da die ursprüngliche (positive) Richtung WF rechts liegt.

Läßt man die Strahlen parallel auf das Hohlglas fallen, so wird GV, d. i. b, der Brennweite p dieses Glases gleich sein, und wenn dann beide Gläser in unmittelbarer Berührung stehen, also $VW = d = o$ ist, so findet man die Brennweite des ganzen Systems

$$\frac{p p'}{p - p'}.$$

Es sei z. B. die Brennweite p des Zerstreuungsglases = 36 Zoll, die des Sammelglases, oder $p' = 24$ Zoll, so ist die Brennweite der vereinigten Linsen

$$\frac{36 \cdot 24}{36 - 24} = 72 \text{ Zoll.}$$

Die Verbindung wirkt daher wie ein Sammelglas von 72 Zoll Brennweite und es ist daraus einleuchtend, wie man sehr lange Brennweiten hervorbringen kann, blos durch Verbindung einer Concav- und Convexlinse von weit kürzern Brennweiten.

Wenn aber $p <$ als p', nämlich wenn das Hohlglas eine kürzere Brennweite hat, als das Sammelglas, so wirkt die Verbindung als Zerstreuungsglas. Es sei z. B. $p = 24$ Zoll, $p' = 36$ Zoll, so erhält man die Vereinigungsweite der Zusammenstellung

$$\frac{36 \cdot 24}{24 - 36},$$

welches wiederum 72 Zoll giebt, welche aber wegen des negativen Nenners $24 - 36 = -12$, ebenfalls negativ sind. Dies deutet eben an, daß hier der Vereinigungspunkt nicht wie im vorigen Beispiele hinter die

Converlinse, sondern vor dieselbe fällt, also ein Zerstreuungspunkt ist. Diese Verbindung wirkt also wie ein einziges Hohlglas von 72 Zoll Brennweite.

Häufiger ist noch der Fall, wo, wie z. B. bei den Objectivgläsern achromatischer Fernröhre die convexe Linse V vorn steht und hinter ihr die concave W aufgestellt ist (Taf. VIII, Fig. 8). Hier bricht das Sammelglas V den mit der Are parallel auffallenden Strahl nach dem Brennpunkte G, aber ehe er dahin gelangt, wird er von dem Zerstreuungsglase W aufgefangen und von Neuem gebrochen. Hier kommt alles auf die Entfernung des Punktes G von der Linse W an und man wird in verschiedenen Fällen mittelst des in §. 69 Gesagten die Richtung des austretenden Strahls leicht beurtheilen können. Fällt G gerade in den Zerstreuungspunkt der Linse W, so wird der bei I austretende Strahl mit der Are parallel; fällt aber G noch über den Zerstreuungspunkt der Linse W hinaus, so divergiren die Strahlen nach dem Austritt aus dem zweiten Glase, und die Verbindung wirkt daher als Zerstreuungsglas. Wenn endlich G zwischen die Linse W und ihren Zerstreuungspunkt zu liegen kommt, so convergiren die Strahlen auch noch nach dem Durchgange durch das Zerstreuungsglas, nur nicht mehr so stark, als vor dem Eintritt in dasselbe, und der Brennpunkt G des Glases V wird nach F hinausgerückt.

Wir können diesem wiederum genau mit der Rechnung folgen. Ist nämlich die Entfernung des Objects von der Linse V = a, deren Brennweite p, so ist die Vereinigungsweite

$$VG = b = \frac{a\,p}{a - p}.$$

Ist ferner der Abstand beider Linsen VW = d, so ist WG = b — d, und aus dieser Größe und der Brennweite p′ der Linse W muß man die Vereinigungsweite WF berechnen. Es ist nämlich:

$$WF = b' = \frac{p'(b-d)}{p'-b+d}.$$

Wenn das leuchtende Object sehr weit vom Glase V entfernt ist, so wird WG = b = p und daher

$$WF = b' = \frac{p'(b-d)}{p'-b+d}.$$

Es sei z. B. die Brennweite p des Sammelglases = 24 Zoll, die des Hohlglases p' = 36 Zoll, der Abstand beider Linsen d = 12 Zoll, so ist

$$WF = \frac{36 \cdot (24-12)}{36-24+12} = \frac{36 \cdot 12}{24} = 18 \text{ Zoll},$$

und daher auch der Abstand des Vereinigungspunktes G vom Glase V = VW + WF = 12 + 18 = 30 Zoll.

Sollen die Linsen sich unmittelbar berühren, so muß d = o gesetzt werden und dann hat man die Vereinigungsweite

$$= \frac{p\,p'}{p'-p},$$

eben so wie vorher, nur daß dort die Bezeichnungen p und p' für die Brennweiten beider Gläser wechseln, indem die Brennweite des Sammelglases dort mit p', hier mit p bezeichnet ist. Daher ist es in dem Falle, wenn die beiden Linsen sich berühren, gleichgültig, welche von beiden voransteht. Je nachdem die Brennweite des Sammelglases kleiner oder größer ist, als die des Zerstreuungsglases, wirkt die Verbindung als Sammel- oder als Zerstreuungsglas.

Um nun die Größe des Bildes zu bestimmen, welches durch das Linsensystem (Taf. VIII, Fig. 8) hervorgebracht wird, ziehen wir durch den äußersten Endpunkt y des auf der Axe senkrecht stehenden Objects xy und durch den Mittelpunkt V der Sammellinse die Linie VA, errichten in dem Vereinigungspunkte G das Perpendikel GA, so ist GA das durch die Sammellinse erzeugte Bild, das aber nicht zur Wirklichkeit kommt. Nun zieht man durch den Mittelpunkt W des Hohlglases und durch a die Linie Wa, errichtet in dem Vereinigungspunkte F des

ganzen Gläsersystems auf der Axe das Perpendikel Fa, so ist Fa die Größe des Bildes, welches durch die vereinte Wirkung beider Linsen erzeugt wird. Die Linie WAa ist nichts anderes, als der Strahl, der von der Vorderlinse so gebrochen wird, daß er gerade durch die Mitte W der zweiten Linse geht.

Der Abstand des Bildes vom ersten Glas ist = VF. Für ein einziges Sammelglas V, dessen Brennweite VF wäre, würde die Größe des Bildes nur = Fa' sein, während es bei gegenwärtiger Verbindung der Gläser = Fa ist. Hieraus ist einleuchtend, daß auf solche Weise ein größeres Bild erzeugt wird, als durch ein Sammelglas von eben der Brennweite, als der Abstand des Bildes Fa von der ersten Linse V beträgt.

Dieses können wir mit der Rechnung so verfolgen. Behalten alle vorhin angegebenen Buchstaben auch hier ihre Bedeutnng bei, und ist die wahre Größe des Gegenstandes = h, so ist

$$GA = h' = \frac{b\,h}{a},$$

$$\text{und } FA = \frac{b'\,h'}{b - d}.$$

Wird die Entfernung des Gegenstandes unendlich groß, also VG = b = p und nennen wir den Sehwinkel des Objects von da aus, wo unser Gläsersystem aufgestellt ist, O, so wird die Größe des Bildes

$$FA = \frac{p\,p' \cdot O}{p' - p + d}.$$

In dem vorigen Beispiele war p = 24 Zoll, p' = 36 Zoll, d = 12 Zoll, also folgt

$$FA = \frac{24 \cdot 36 \cdot O}{36 - 24 + 12} = 36 \cdot O.$$

Die Entfernung dieses Bildes vom ersten Glase betrug aber 30 Zoll, daher ein Glas von dieser Brennweite ein Bild 30 · O hervorbringen würde, so daß also das durch das Gläsersystem erzeugte Bild um 6 · O größer

ist. Sollte ein einzelnes Glas ein eben so großes Bild erzeugen, so müßte seine Brennweite 36 Zoll sein.

§. 74. Practische Bestimmung des Brechungsverhältnisses durch Linsen.

Diese Methode ist sehr zu empfehlen.

Man verfertigt sich zu diesem Behufe eine Planconvexlinse von nicht allzu kurzer Brennweite. Da das Brechungsverhältniß des Glases ungefähr $\frac{3}{2}$ ist, so bestimmt sich im Voraus schon näherungsweise die Brennweite der Linse, wenn der Krümmungshalbmesser der convexen Fläche bekannt ist; denn man weiß bereits, daß die Brennweite das Doppelte dieses Halbmessers beträgt. Es sei z. B. der Krümmungshalbmesser genau = 8 Zoll, so wird die Brennweite der Planconvexlinse ungefähr 16 Zoll betragen.

Nun mißt man die Brennweite dieser Linse, indem man sich zu diesem Behufe eine einfache Vorrichtung herstellt, die ungefähr in Folgendem besteht. Man hobelt ein Stückchen Holz (Taf. VIII, Fig. 9) dünn und vierkantig ab, doch nicht so schwach, daß es sich leicht biegt, und befestigt an dem einen Ende vermittelst einer leicht zu erdenkenden Vorrichtung das zu untersuchende Glas A so, daß es gegen die Latte senkrecht steht. Außerdem bringt man noch das Stück B an, welches sich auf der Latte hin und her schieben läßt und zwar nicht zu leicht und auch nicht zu gedränge. Dieses Stück kann etwa die Form C haben, mit dem Loche d, mittelst dessen es sich auf der Latte hin und her schieben läßt. Seine gegen das Glas A gekehrte Fläche ist eben und muß auf der Latte genau senkrecht stehen; auch kann sie mit einem weißen Papier überzogen sein.

Nun hält man das Glas gegen die Sonne und schiebt das Stück B so lange hin und her, bis man auf der gegen das Glas gekehrten Fläche ein reines und deutliches Bild der Sonne erhalten hat. Dann ist der Abstand dieses Bildes von der Hinterfläche des Glases

dessen Brennweite, die man genau messen muß. Hierbei thut man am Besten, wenn man die ebene Fläche der Linse gegen die Sonne kehrt, indem dann die Dicke des Glases auf die Entfernung des Sonnenbildes von seiner Hinterfläche gar keinen Einfluß ausübt. Nur muß man die Oeffnung der Linse dann gering nehmen, damit nicht die Abweichung wegen der Kugelgestalt, welche, wie wir später sehen werden, bei dieser Stellung sehr groß ist, einen merklichen Einfluß auf das Bild ausübe. Man kann bei 16 Zoll Brennweite der Linse Oeffnung etwa = $\frac{1}{2}$ Zoll nehmen.

Nunmehr kann man das Brechungsverhältniß des Glases berechnen, indem man den Halbmesser der convexen Fläche durch die Brennweite dividirt und zum Quotienten 1 addirt.

Diese Regel folgt leicht aus §. 64, denn dort war für ein Planconvexglas die Brennweite

$$p = \frac{R}{(n - 1)},$$

woraus

$$n = 1 + \frac{R}{p} \text{ hervorgeht.}$$

Es sei z. B. der Krümmungshalbmesser der convexen Fläche = 8 Zoll = 96 Linien und ihre Brennweite = 184,7 Linien gefunden worden. Dividirt man also den Halbmesser mit der Brennweite, so erhält man zum Quotienten 0,5197, daher, wenn man 1 addirt, das Brechungsverhältniß = 1,5197.

Auf diese Weise läßt sich das mittlere Brechungsverhältniß des Glases, woraus die Linse besteht, mit großer Genauigkeit finden.

Es sei wiederum der Krümmungshalbmesser = 96 Linien, die Brennweite = 154,8 Linien, so ist der Quotient, den man erhält, wenn man die erste Zahl durch die letztere dividirt, = 0 • 6201, daher das Brechungsverhältniß = 1,6201.

Man kann auch den Versuch mit umgekehrter Stellung der Linse wiederholen, indem man die convexe Seite gegen die Sonne kehrt, wobei man aber ihre Dicke mit in Rechnung bringen muß. Es geschieht dieses mit hinlänglicher Genauigkeit, wenn man zu der nach obiger Vorschrift gefundenen Brennweite noch $\frac{2}{3}$ der Dicke der Linse in ihrer Mitte hinzusetzt.

Will man den Versuch mit einer gleichseitigen Convexlinse anstellen, so dividirt man den Krümmungshalbmesser R durch die doppelte Brennweite p und addirt 1 zum Quotienten, so hat man ebenfalls das Brechungsverhältniß n, nämlich

$$n = 1 + \frac{R}{2p}.$$

Den Einfluß der Dicke der Linse kann man mit hinreichender Genauigkeit dadurch beseitigen, daß man ihren 6ten Theil zu der nach obiger Vorschrift gemessenen Brennweite addirt.

Das eben beschriebene Verfahren, die Brennweite eines Sammelglases zu finden, gewährt bei mäßigen Brennweiten alle erforderliche Genauigkeit. Bei Linsen von großen Brennweiten wird man mit Vortheil folgendes Verfahren anwenden können, wobei vorausgesetzt wird, daß man ein gutes dioptrisches Fernrohr habe. Dieses richtet man nach einem sehr weit enfernten Gegenstande, z. B. nach dem Monde, und zieht es so weit aus, bis man den Mond recht deutlich erkennt. In dieser Stellung wird das Fernrohr gehalten, daß sich nämlich die Röhren nicht wieder verschieben. Nun bringt man die zu untersuchende Linse vor das Object des Fernrohrs, so daß es mit diesem die Axe gemein hat und auf ihr senkrecht steht. Endlich lasse man in der schon nahe bekannten Brennweite der zu untersuchenden Linse ein Buch mit kleiner Schrift aufstellen und dasselbe so lange von dem Fernrohr ab- oder an dasselbe anrücken, bis man die Schrift am deutlichsten erkennen kann. Dann ist die Entfernung des Buchs von der zu unter-

suchenden Linse der Brennweite derselben gleich. — Das Objectivglas des Fernrohrs nämlich empfängt vom Monde Parallelstrahlen und ist so weit auseinander gezogen, daß deutliches Sehen stattfindet. Da aber auch bei unveränderter Länge des Fernrohrs das Buch deutlich gesehen wird, so muß von ihm das Objectivglas ebenfalls Parallelstrahlen empfangen, und es müssen daher die vom Buch ausgegangenen und durch die vor dem Objectiv aufgestellte Linse gebrochenen Strahlen unter sich parallel geworden sein, welches nur möglich ist, wenn das Buch im Brennpunkt dieser Linse steht.

Ungefähr kann man die Brennweite eines Sammelglases bestimmen, wenn man durch dasselbe eine Kerzenflamme betrachtet und dann so weit mit dem in der Hand gehaltenen Glase von der Flamme sich entfernt, bis diese zu verschwinden anfängt und man einen auf die ganze Fläche des Glases verbreiteten Lichtschein bemerkt. Die Entfernung der Flamme vom Glase ist dann die ungefähre Brennweite. Das Auge muß dabei etwas weit vom Glase abstehen.

§. 75. Bestimmung der Brennweite eines Hohlglases.

Weit schwieriger ist es, die Brennweite eines Hohlglases zu finden, da ein solches kein Bild macht. Zu diesem Behufe muß man ein Sammelglas von kleinerer und bekannter Brennweite mit dem Zerstreuungsglase verbinden, welche Verbindung, wie wir wissen, als ein Sammelglas von größerer Brennweite wirkt. Nun mißt man die Brennweite der Doppellinse gerade so, wie wir in §. 74 nachgewiesen haben und leitet hieraus die Brennweite der Hohllinse durch folgende Rechnung her.

Man multiplicirt die Brennweite der Doppellinse mit der des Sammelglases und dividirt das Product durch den Unterschied dieser beiden Größen.

Es sei z. B. die Brennweite des mit dem Hohlglase verbundenen Sammelglases = 8 Zoll, die Brennweite der Doppellinse = 20 Zoll, so folgt die Brennweite der Hohllinse

$$= \frac{8 \times 20}{12 - 8} = \frac{160}{4} = 40 \text{ Zoll.}$$

Es giebt auch Methoden, nach welchen man die Brennweiten von Linsengläsern und das Brechungsverhältniß ihrer Materie selbst in dem Falle finden kann, wenn nicht einmal die Krümmungshalbmesser bekannt sind. Doch trage ich Bedenken, diese Verfahrungsarten hier zu erklären, da ich nicht absehe, was sie für die Kenntniß und Verfertigung optischer Instrumente für Nutzen haben könnten. Man hat durch diese Methoden, welche besonders von Stampfer in Wien mit großer Präcision angewendet worden sind, die Construction ausgezeichneter achromatischer Fernröhre, wie z. B. der Fraunhofer'schen, ermittelt, doch darf sich ein Künstler von solchen Abmessungen keinen Vortheil versprechen, wenn er nicht Anleitung hat, die Einrichtung nach der besondern Glasart, die er anwenden kann, zu machen.

§. 76. Von den Erscheinungen, welche Glaslinsen darbieten, wenn sie auf der einen Seite mit Folie, wie die gewöhnlichen Zimmerspiegel, belegt sind.

Da man dergleichen Spiegel zu manchen optischen Zwecken, z. B. zur Erleuchtung der Gegenstände, welche durch Mikroskope betrachtet werden sollen, verwendet, so dürfen sie hier nicht übergangen werden.

Es sei also MN (Taf. VIII, Fig. 10) eine auf beiden Seiten erhabene Linse und XG ihre Axe; die Hinterseite MBN sei nach Art der Glasspiegel mit Folie belegt. In X sei ein Punkt, welcher den Strahl XE auf die Vorderfläche des Glasspiegels wirft, so wird zuerst dieser Strahl von der Linse auf gewöhnliche Weise

gebrochen und hat die Richtung DG, die er vermöge der Brechung an der Vorderfläche der Linse erhalten muß und in welcher er auf die Spiegelfläche gelangt. Von dieser wird er nun zurückgeworfen und erhält dadurch die Richtung KI, vermöge welcher er in dem Punkte K mit der Axe zusammentreffen würde. Die Richtung KI bestimmt sich auf dieselbe Weise, wie wir den Weg convergirender Strahlen zu zeichnen gelehrt haben, wenn sie durch einen Hohlspiegel reflectirt werden. Die Richtung IK behält der Strahl so lange, bis er bei L wieder aus dem Glase zurücktritt, denn hier wird er nur noch stärker nach der Axe zu gebrochen und erhält die Richtung LF. In F trifft er mit der Axe zusammen und auf gleiche Weise auch alle Strahlen, welche von X ausgehen und vom Spiegel wieder reflectirt werden. Folglich entsteht in F ein Bild des Punktes X.

Hieraus sehen wir, daß die Wirkung eines solchen Spiegels ganz analog ist der Wirkung einfacher sphärischer Hohlspiegel, nur daß hier außer der Spiegelung an der belegten Fläche auch die Brechung des Glases mit wirkt und so die Vereinigungsweite F noch näher an das Glas gezogen wird, als es der Fall sein würde, wenn nur die Spiegelung der belegten Fläche wirkte.

Wenn eine auf beiden Seiten hohle Linse mit Folie belegt wird, so findet gerade die entgegengesetzte Wirkung statt; ein solcher Glasspiegel wirkt wie ein gewöhnlicher Convexspiegel. Indem nämlich parallele oder divergirende Strahlen auf die vordere Fläche der Linse fallen, werden sie hier so gebrochen, daß sie divergiren oder von einem vor dem Glase liegenden Punkte auszugehen scheinen, und in dieser Richtung gehen sie durch das Glas hindurch bis an die Hinterfläche, wo sie, wenn keine Belegung da wäre, zum zweiten mal gebrochen werden würden, wie es bei Glaslinsen stattfindet. Aber die convexe Spiegelfläche weist sie wieder zurück und macht sie, wie Convexspiegel thun, mehr divergirend. So gelangen sie wieder bis an die Vorderfläche des Glases, von der sie zum zweiten mal gebrochen und noch mehr diver-

girend gemacht werden. — Eine solche Vorrichtung wirkt also gerade wie ein erhabener Kugelspiegel und entwirft in derselben Weise verkleinerte und aufrecht stehende Bilder.

Wir bemerken hierbei folgende Fälle, welche zum practischen Gebrauche hinreichend sein werden.

1) Eine gleichseitige Convexlinse wirkt, wenn sie auf einer Seite foliirt wird, wie ein Hohlspiegel und die Brennweite ist gleich dem vierten Theile des Kugelhalbmessers, wonach beide Flächen der Linse gekrümmt sind, wenn das Brechungsverhältniß des Glases $= \frac{3}{2}$ ist.

2) Eine Planconvexlinse, welche auf der erhabenen Seite mit Folie belegt wird, wirkt ebenfalls als Hohlspiegel und die Brennweite ist gleich dem dritten Theile des Kugelhalbmessers, wonach die convexe Fläche gekrümmt ist.

3) Wird die ebene Seite eines Planconvexglases mit Folie belegt, so erhält man einen Spiegel, der ebenfalls als hohler Kugelspiegel wirkt, aber die Brennweite ist gleich dem Kugelhalbmesser selbst, wonach die erhabene Fläche gekrümmt ist.

4) Wenn in den drei genannten Fällen statt der convexen Fläche eine hohle gesetzt wird, so wirkt der Spiegel wie ein erhabener Kugelspiegel und zerstreut die Strahlen so, als ob sie aus einem hinter ihm gelegenen Punkte herkämen. Die Entfernung dieses Punktes wird eben so bestimmt, wie die Brennweite in dem Falle, wo statt der hohlen Fläche eine convexe gesetzt wird.

5) Ein Glas, welches auf einer Seite convex, auf der andern hohl, aber beide Mal nach gleichem Halbmesser gekrümmt ist, wirkt als hohler Kugelspiegel, wenn die Folie auf die hohle Seite gebracht wird. Die Brechungen, welche der Strahl beim Eintritt in das Glas und beim Austritt aus demselben erleidet, heben einander mit Hülfe der Spiegelung auf. Es sei nämlich (Taf. **VIII**, Fig. 11) **M N** ein solcher Spiegel, **A F** seine Axe und **Z E** ein mit derselben parallel auffallender Strahl. Dieser wird von der hohlen Vorderfläche des

Glasspiegels so gebrochen, daß er die Richtung **AE** hat, und in dieser gelangt er auf die Spiegelfläche. Das leuchtende Object ist nun in **A** zu setzen und sein Bild muß daher weiter vom Spiegel fallen, als das Bild des unendlich weit entfernten Objects, von dem der Strahl **ZE** kommt. Die Reflexion giebt nun dem Strahle die Richtung **EB**, und wenn dieser wieder aus dem Glase herausgeht, so wird er mehr nach der Axe zu gebrochen und in die Richtung **EF** gebracht. Diese letzte Brechung hebt genau den Unterschied auf, der daher entstanden ist, daß die Strahlen nicht parallel auf den Spiegel fielen, sondern so, als kämen sie aus **A**.

Für solche, welche sich vollständiger in dieser Sache unterrichten wollen, setze ich die Formel her, nach welcher die Brennweite von Spiegeln, die man durch Foliiren von Glaslinsen erhält, berechnen kann. Es sei der Halbmesser der offenen, d. h. nicht belegten Fläche $= r$, der der foliirten $= R$, das Brechungsverhältniß $= n$, die Brennweite $= p$, so ist:

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{r} + \frac{2n}{R},$$

wonach man den Bruch $\frac{1}{p}$, also auch p berechnen kann. Für p selbst hat man die Gleichung:

$$p = \frac{rR}{2(n-1)R + 2nr}.$$

Dieses gilt zunächst, wenn die Flächen convex sind.

Ist das Glas gleichseitig, also $r = R$, so ist

$$p = \frac{R}{4n-2}.$$

Ist die Linse planconvex und die convexe Seite belegt, so ist:

$$p = \frac{R}{2n}$$

und wenn die ebene Seite belegt ist

$$p = \frac{r}{2n-2}.$$

Die drei letzten Formeln gelten auch für den Fall, daß die convexen Flächen in hohle übergehen, nur wird alsdann aus der Brennweite eine Zerstreuungsweite. Wenn die eine Fläche hohl ist, die andere convex, so muß man den Krümmungshalbmesser der hohlen Fläche in der allgemeinen Formel für p negativ nehmen, dabei aber immer Obacht geben, daß r den Halbmesser der offenen R den der belegten Fläche bedeutet. So oft p negativ wird, wirkt der Spiegel als Kugelspiegel.

Von den Fehlern sphärischer Linsengläser.

§. 77. Abweichung wegen der Kugelgestalt.

Wir haben in dem Vorigen bei der Untersuchung der Brechung durch sphärische Linsen gesehen, daß alle Strahlen, die von einem Punkte der Axe oder parallel mit ihr auf ein Glas fallen, nach der Brechung auch genau wieder in einem Punkte sich vereinigen und daselbst ein Bild des Gegenstandes verursachen, sei es nun ein Scheinbild oder ein wahres. Diese Voraussetzung ist aber in der That nicht ganz richtig, sondern nur für den Fall zulässig, daß die Punkte, wie E (Taf. VII, Fig. 5) in welchen die Strahlen auf die Linse treffen, nicht sehr weit von der Axe entfernt liegen, oder mit andern Worten, daß das Perpendikel E P vom Einfallspunkte E auf die Axe nur klein ist, oder aber, wenn die Linse nur eine geringe Oeffnung hat. Strahlen, welche sehr nahe an der Axe auf das Glas fallen, nennt man Centralstrahlen und die Vereinigungsweiten und Brennweiten, die wir im Obigen zu berechnen gelehrt haben, gelten eigentlich blos für solche Centralstrahlen.

Diejenigen Strahlen aber, welche in beträchtlicher Entfernung von der Axe, also nahe am Rande des Glases einfallen, heißen Randstrahlen und sie werden von sphärischen Linsen stärker gebrochen, als die Centralstrahlen, daher auch in einem dem Glase näher lie-

genden Punkte mit der Axe vereinigt, als die um die Mitte des Glases liegenden Strahlen. Es sei z. B. der Vereinigungspunkt aller Centralstrahlen des Glases MN (Taf. VII, Fig. 5) in f, so wird der Randstrahl ZE nach dem Durchgange durch diese Linse nicht auch nach f gehen, sondern die Axe in einem näher am Glase gelegenen Punkte F treffen, so daß die Vereinigungsweite eines Randstrahls geringer ist, als die nach obigen Formeln berechnete Vereinigungsweite der Centralstrahlen.

Den Unterschied Ff zwischen der Vereinigungsweite der Centralstrahlen und der eines Randstrahls, nennt man Abweichung wegen der Kugelgestalt, weil in der That die kugelförmige Krümmung der Linsen Ursache an dieser Abweichung ist. Die Abweichung wegen der Kugelgestalt ist zwar, wenn die Oeffnung des Glases (d. h. seine Breite) nicht allzu groß ist, nur gering und kaum merklich, wenn aber ein optisches Instrument große Oeffnungen seiner Gläser besitzen soll, was in der That ein nothwendiges Erforderniß eines guten Werkzeuges ist, so kann seine Abweichung eine bedeutende Störung des deutlichen Sehens hervorbringen, daher man ihren Einfluß kennen und so viel wie möglich verringern, oder wenn es angeht, gar vernichten muß. Vor der Entdeckung der noch größeren Abweichung wegen der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Strahlen hielt man die Abweichung wegen der Kugelgestalt für den einzigen Grund der Undeutlichkeit optischer Instrumente, daher man sich nach andern, als kugelförmig gekrümmten Linsen umsah, um mit Wegbringung der Abweichung die gewünschte Deutlichkeit zu erhalten. Man fand auch in der That, daß Linsen mit elliptischen und hyperbolischen Oberflächen alle aus einem Punkte der Axe kommenden Strahlen genau wieder in einem Punkte sammele, aber dieser Gedanke mußte liegen bleiben, sobald man zur Ausführung schritt; denn nur sphärische Linsen lassen sich mit erforderlicher Genauigkeit schleifen. Als man aber die weit schädliche Abweichungre wegen der verschiedenen Brechbarkeit kennen gelernt hatte, gab man den

Gedanken, elliptische und hyperbolische Glaslinsen zu fertigen, ganz auf.

§. 78. Berechnung der Kugelabweichung bei verschiedenen Linsen.

Man kann über die Abweichung wegen der Kugelgestalt genaue Rechnungen führen, es sind aber dieselben so verwickelt, daß nur ein geübter Mathematiker sie handhaben kann und sie daher nicht in dem Plane der gegenwärtigen Schrift liegen können. Ein practischer Optiker darf sich deßhalb wohl trösten, da man jetzt sehr vollständige und bequeme Tabellen über die Krümmungshalbmesser achromatischer Doppelobjective hat und sie dadurch der beschwerlichen und gerade hier höchst wichtigen Rechnungen wegen der Kugelabweichung überhoben sein können.

Zur näheren Kenntniß dieser Abweichung wollen wir indeß noch Folgendes bemerken.

1) Bei Linsen mit verschieden gekrümmten Oberflächen ist es durchaus nicht gleichgültig, welche Seite man dem Gegenstande zukehrt. Ist z. B. der Gegenstand unendlich weit entfernt, so muß man immer die am stärksten gekrümmte Seite der Linse zukehren, z. B. bei einer planconvexen Linse die convexe Seite. Liegt aber das Object im Brennpunkte der Linse, so muß ihm die schwächer gekrümmte Seite zugekehrt werden.

2) Wenn der Gegenstand unendlich weit entfernt ist, welches wir immer voraussetzen wollen, so hat man für die Abweichung wegen der Kugelgestalt folgende Formel:

$$\frac{npxx}{2(n-1)^2}\left[\frac{n}{pp}-\frac{(2n+1)(n-1)}{nrp}+\frac{(n+2)(n-1)^2}{nnrr}\right].$$

Hier ist x die halbe Oeffnung (Oeffnungshalbmesser), p die Brennweite, n das Brechungsverhältniß, r der Halbmesser der dem Objecte zugekehrten Fläche des

Glases. Die Formel gilt zunächst für eine auf beiden Seiten convexe Linse, wenn aber die Vorderfläche hohl wird, so muß ihr Krümmungshalbmesser r negativ gesetzt werden und ebenso auch die Brennweite p, wenn die Linse als ein Zerstreuungsglas wirkt. Wer mit den Rechnungen mit positiven und negativen Größen umgehen kann, kann diese Formel leicht handhaben. Diese Abweichung muß von der Brennweite p für die Centralstrahlen abgezogen werden, wenn man die Vereinigungsweite des Randstrahls finden will, welcher in der Entfernung x vom Mittelpunkte des Glases parallel mit der Axe einfällt.

3) Es ist (einen sehr beschränkten und nicht anwendbaren Fall ausgenommen) nicht möglich, eine kugelförmig gekrümmte Linse zu verfertigen, bei der die Abweichung wegfiele, aber es giebt ein Verhältniß der Krümmungshalbmesser, bei dem die Abweichung so klein als möglich wird. Soll nämlich die Brennweite einer Linse = p sein und die Abweichung ein Kleinstes werden, so ist

der vordere Halbmesser $= \frac{2(n-1)(n+2)}{(2n+1)n} p$

der hintere Halbmesser $= \frac{2(n-1)(n+2)}{4+n-2nn} p$

und die kleinste Abweichung beträgt:

$$\frac{n(4n-1)xx}{8(n-1)^2(n+2)p}$$

vorausgesetzt, daß der Gegenstand unendlich weit entfernt ist. Ist daher das Brechungsverhältniß $n = \frac{3}{2}$, so ist

der vordere Halbmesser $= \frac{7}{12}$ p,

der hintere Halbmesser $= \frac{7}{2}$ p,

also muß der hintere Halbmesser 6mal größer sein als der vordere.

Die kleinste Abweichung beträgt:

$$\frac{15}{14} \cdot \frac{xx}{p}.$$

Wie gering dieses ist wollen wir an einem Beispiele zeigen. Huyghens besaß ein Fernrohr, dessen Objectivglas bei 30 Fuß = 360 Zoll Brennweite 3 Zoll Oeffnung hatte. Hier ist also $p = 360$, $x = \frac{3}{2}$ und daher die Abweichung

$$= \frac{14}{15} \cdot \frac{(\frac{3}{2})^2}{360} = \frac{15 \cdot 9}{14 \cdot 4 \cdot 360}$$

$= \frac{3}{448}$ Zoll $= \frac{9}{112}$ Linien, wenn anders das Glas nach obigem Verhältniß der Halbmesser geschliffen und das Brechungsverhältniß $\frac{3}{2}$ war. Diese Abweichung ist ganz unschädlich, wie wir später noch deutlicher einsehen werden.

Wäre aber die Brennweite $p = 1$ Fuß $= 12$ Zoll, die Oeffnung $= 4$ Zoll, also die halbe Oeffnung $x = 2$ Zoll, so wäre die kleinste Abweichung $\frac{5}{14}$ Zoll. So groß darf sie aber bei keinem optischen Instrumente genommen werden und ist etwa nur bei Brenngläsern zuläſſig.

Man nennt solche Linsen, bei denen die Kugelabweichung ein Kleinstes wird, Linsen von der besten Form. Liegt der Gegenstand im Brennpunkte, so muß, wenn die Abweichung ein Kleinstes werden soll, die flächere Seite vorgestellt werden, weil im entgegengesetzten Falle die Abweichung gar die größtmögliche wird. So würde auch die Abweichung ein Größtes werden, wenn man einem unendlich weit entfernten Objecte die flache Seite zukehren wollte.

4) Ist die Linse gleichseitig, so ist es natürlich gleichgültig, welche Seite man dem Gegenstande zukehrt. Die Abweichung beträgt für einen unendlich weit entfernten Gegenstand:

$$\frac{4n^3 - 4nn - n + 2}{8n(n-1)^2} \cdot \frac{xx}{p}$$

oder wenn $n = \frac{3}{2}$,

$$\frac{5}{8} \cdot \frac{xx}{p}.$$

5) Ist das Glas planconvex und wird die erhabene Seite einem unendlich weiten Gegenstande zugekehrt, so ist die Abweichung

$$\frac{n^3 - 2n^2 + 2}{2n(n-1)^2} \cdot \frac{xx}{p}$$

oder für $n = \frac{3}{2}$, $\frac{7}{6} \cdot \frac{xx}{p}$, welche Abweichung von der kleinsten nur um weniges unterschieden ist, daher man auch gern zu optischen Instrumenten Planconvexgläser verwendet.

6) Wird aber die ebene Seite eines Planconvexglases einem unendlich weiten Gegenstande zugekehrt, so beträgt die Abweichung

$$\frac{nn}{2(n-1)^2} \cdot \frac{xx}{p},$$

welches für $n = \frac{3}{2}$, $\frac{9}{2} \cdot \frac{xx}{p}$ beträgt. Diese Abweichung ist beinahe 4mal größer als die in Nr. 4, wo das Glas die umgekehrte Stellung hat, und man kann hieraus abnehmen, wie viel auf die Stellung der Linsen in Bezug auf die Kugelabweichung ankommt.

7) Wenn das Brechungsverhältniß zunimmt, so nimmt die Abweichung ab. Ist z. B. für den Fall Nr. 4 das Brechungsverhältniß $= 1 \cdot 6$, so beträgt die Abweichung $\frac{6}{7\frac{1}{2}} \cdot \frac{xx}{p}$, welches um ein Merkliches weniger ist, als wenn $n = \frac{3}{2}$ genommen wird.

8) Die Fälle 2 bis 7 gelten auch dann, wenn statt der convexen Fläche concave gesetzt werden, wo man lauter Zerstreuungsgläser erhält. Diese zerstreuen nämlich die Central- und Randstrahlen auf ähnliche Weise verschieden, wie die Sammelgläser sie sammeln.

Wenn z. B. (Taf. VIII, Fig. 1) f der Zerstreuungspunkt für die Centralstrahlen ist, so liegt der Zerstreuungspunkt F des Randstrahls ZE näher am Glase und die Kugelabweichung f F wird nach eben den Formeln

berechnet, die wir in Nr. 2 bis 7 aufgestellt haben, indem p die Zerstreuungsweite der Centralstrahlen bedeutet.

§. 79. Construction des Abweichungskreises.

Um die durch die Kugelabweichung hervorgebrachte Undeutlichkeit zu beurtheilen, construirt man den Abweichungskreis. Es sei (Taf. X, Fig. 4) Ee eine Linse, AF eine Axe und die Vereinigungsweite in F. Ferner sei Ze ein am äußersten Rande auffallender Strahl, so liegt der Punkt f, in welchen die Axe trifft, zwischen F und dem Glase, und es ist fF die größte Abweichung wegen der Kugelgestalt. Wenn nun der unterhalb der Axe einfallende Strahl ze eben so weit von der Axe absteht als ZE, so geht er ebenfalls durch f, und auf gleiche Weise gehen alle am Rande in derselben Entfernung von der Axe auffallenden Strahlen durch f. Sie bilden daher einen Kegel pfq, und wenn man diesen bei dem Vereinigungspunkte F der Centralstrahlen mit einer senkrecht auf der Axe stehenden Ebene durchschneidet, so erhält man einen Kreis vom Durchmesser pq, welcher der Abweichungskreis genannt wird und durch dessen Fläche jeder Strahl, der, wie z′e′, zwischen ZE und ze auf das Glas fällt und daher in einem zwischen f und F gelegenen Punkte f′ die Axe trifft, hindurch gehen muß.

Das Bild des Punktes also, von welchem die Strahlen ZE, ze u. s. w. ausgehen, erscheint nicht mehr als ein Punkt, sondern als ein Kreis vom Halbmesser Fq, und daher muß Undeutlichkeit entstehen, die um so größer wird, je größer Fq ist. Daher kann man nach der Größe des Abweichungskreises die Undeutlichkeit des Bildes schätzen.

Der so construirte Abweichungskreis pq faßt alle von demselben Punkte auf das Glas auffallenden Strahlen, ist aber keineswegs der einzige, welcher diese Eigenschaft besitzt. Vielmehr giebt es in dem Kegel pfq

nach f zu unzählig viel senkrechte Durchschnitte, durch welche ebenfalls jeder Strahl hindurch passiren muß, und unter ihnen ist einer der kleinste, der nämlich, welcher um $\frac{3}{4}$ der Länge f F von F absteht und der in der Figur etwa m n sein mag. Ein senkrechter Durchschnitt des Kegels p f q aber, der näher an f liegt, als m n, faßt nicht mehr alle von demselben Punkte ausgehenden und sich über die ganze Fläche des Glases E e verbreitenden Strahlen. Diesen kleinsten Abweichungskreis hat man vorzugsweise zum Maße der Undeutlichkeit gemacht und man kann seinen Durchmesser oder Halbmesser leicht berechnen, wenn man die Abweichung F f kennt. Versteht man nämlich unter L die Abweichung f F, die man nach dem vorigen Abschnitte berechnen kann, und ist x die halbe Oeffnung der Linse, so ist

$$(m\,n) = \frac{x \cdot L}{4\,p},$$

wobei wiederum vorausgesetzt wird, daß das Objekt unendlich weit vom Glase entfernt ist und daher AF = p die Brennweite bedeutet.

Bei einer Linse von der besten Form ist z. B. wenn das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$ gesetzt wird,

$$L = \frac{15\,x\,x}{14\,p},$$

daher der Halbmesser des kleinsten Abweichungskreises

$$(m\,n) = \frac{15\,x^3}{56\,p\,p}.$$

(Es war bei dem im vorigen §. erwähnten Hugenian i'schen Fernrohre*).

§. 80. Abweichung wegen der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Lichtstrahlen.

Wir haben früher umständlich gezeigt, wie ein weißer Lichtstrahl, sobald er aus einem Mittel in ein anderes übergeht, in seine 7 Farben gleichsam gespalten

*) x = $\frac{1}{2}$ Zoll, p = 360 Zoll, also der kleinste Abweichungskreis 0,000007 Zoll. —

wird, indem einer jeden dieser Farben ihr eigenes Brechungsverhältniß zukommt. Diese Erscheinung wird auch auf alle Fälle bei der Brechung durch Glaslinsen eintreten, so daß ein zusammengesetzter Lichtstrahl nicht mehr einfach, sondern in Farben gespalten aus dem Glase heraustritt und jedem besondern farbigen Strahle seine eigene Vereinigungsweite zukommt. So spaltet sich z. B. der Strahl Z E (Taf. II, Fig. 13) in den äußersten rothen E F, dessen Vereinigungspunkt F mit der Axe am weitesten vom Glase entfernt liegt, weil das rothe Licht die geringste Brechbarkeit besitzt, und in den äußersten violetten E f, welcher am ehesten mit der Axe sich wieder vereinigt, da ihm die größte Brechbarkeit zukommt. Zwischen ihnen liegen nun die übrigen farbigen Strahlen und ihre Vereinigungspunkte zwischen f und F. Daher besteht das Bild eines Punktes, der mit weißem Lichte leuchtet, aus eben so viel farbigen Bildern, als im weißen Lichte verschieden gefärbte Strahlen vorhanden sind und diese Bilder liegen in der Ordnnng hinter einander, in welcher die verschiedenen Strahlen minder und minder gebrochen werden, das violette dem Glase zunächst, das rothe am weitesten von ihm.

Wenn man von der Brennweite oder der Vereinigungsweite eines Linsenglases redet, so ist dieselbe immer für die mittleren Strahlen berechnet, wofür man allgemein, wie schon bemerkt, diejenigen annimmt, welche zwischen dem Gelb und Grün die Mitte halten. Ihr Vereinigungspunkt sei in P, so ist P F die Abweichung der rothen Pf, die der violetten Strahlen, aber P liegt genau in der Mitte zwischen f und F.

Man kann die Abweichung der farbigen Strahlen dadurch berechnen, daß man, wenn z. B. die der violetten gesucht wird, in den Formeln des §. 63 für die Brennweiten der Linsengläser, das Brechungsverhältniß der violetten Strahlen statt n setzt. Dadurch erhält man die Brennweite der violetten Strahlen, und ihr Unterschied von der der mittlern ist die Abweichung. Kürzer aber rechnet man nach der Formel:

Farbenabweichung vom mittlern Brennpunkte

$$= \frac{d\,n}{n-1}\,p,$$

wo d n den Unterschied der Brechungsverhältnisse der mittlern und farbigen Strahlen, n das mittlere Brechungsverhältniß und p die Brennweite der mittleren Strahlen bedeutet.

Es sei z. B. $n = 1 \cdot 55$ für die mittlere und $1 \cdot 56$ für die violetten Strahlen, so giebt der Unterschied dieser Brechungsverhältnisse $0 \cdot 01$, welches d n ist, also hat man die Abweichung der violetten Strahlen $\frac{0 \cdot 01}{0 \cdot 55}\,p = \frac{p}{55}$. Wenn also $p = 55$ Fuß beträgt, wie man früher Linsen von so großen Brennweiten zu Objectivgläsern von Fernröhren gebrauchte, so beträgt die Abweichung schon 1 Fuß. Für die rothen Strahlen wäre das Brechungsverhältniß $1 \cdot 54$, also $d\,n = 0 \cdot 01$ und die Abweichung ebenfalls $= \frac{p}{55}$, oder $=$ 1 Fuß für $p = 55$. Also steht das rothe Bild vom violetten um 2 Fuß ab, indem die Abweichung beider Strahlen auf verschiedene Seiten des mittleren Brennpunktes fällt. Da begreift man denn in der That kaum, wie man bei so großen Abweichungen noch deutliche Bilder sehen kann.

§. 81. Construktion des Farbenabweichungskreises.

Um die Undeutlichkeit der Bilder zu beurtheilen, welche durch die Farbenabweichung verursacht wird, construiren wir einen Abweichungskreis, in dem wir in alle Punkte des Glases, die eben so weit als E, von der Axe abstehen, Strahlen ze einfallen lassen, die nach Vorigem so zerstreut werden, daß die violetten ihren Brennpunkt in f, die rothen in F und die Zwischenfarben

zwischen f und F haben, und hernach durch den Vereinigungspunkt P der mittlern Strahlen eine gegen die Axe des Glases senkrechte Ebene legen. Diese schneidet den Kegel m f n der violetten Strahlen in einem Kreise vom Durchmesser m n und der Kegel o F r in einem Kreise vom Durchmesser o r. Nach der Größe dieses Kreises beurtheilt man die Undeutlichkeit, ebenso wie bei der Abweichung wegen der Kugelgestalt. Der Kreis m n ist nämlich der Raum, in welchen das Bild des Punktes, woher die Strahlen ZE, z e kommen, zerstreut wird.

Fängt man die Strahlen bei P mit einem weißen Schirme auf, so malt sich auf diesem der Zerstreuungskreis m n ab. Bei m und n kann blos violette und blaue Farbe sein, weil dahin blos die violetten und blauen Strahlen gelangen, und daher hat der Kreis m n einen blauen Rand, der nach außen hin in's Violette sich verliert. Nach dem Mittelpunkte P zu vereinigen sich aber immer mehr Farben und bringen da wieder das Weiß hervor. Würde die Ebene m p q aufgestellt, so würde zwar ebenfalls noch ein farbiger Rand bleiben, aber in ihm das Violett und Roth gemischt erscheinen, weil bei p und q die äußersten rothen und violetten Strahlen sich vereinigen. Näher nach F hin wird das Bild wie man leicht sieht, einen rothen Rand haben müssen. — So ist das Bild von jedem Punkte des Objects ein nach außen hin gefärbter Kreis und diese Kreise greifen theilweise in einander und verwischen die Deutlichkeit.

Der Halbmesser P m des Abweichungskreises ist ein eben so vielster Theil von der halben Oeffnung des Glases, als die Abweichung P F oder P f von der ganzen Vereinigungsweite A P. Ist daher die halbe Oeffnung A E = x so ist jener Halbmesser

$$= \frac{x\, d\, n}{n-1},$$

oder wenn wir wie im vorigen §. $n=1 \cdot 55$, $d\,n=0 \cdot 01$ nehmen, $= \frac{x}{55}$.

In dem erwähnten Hugenianischen Fernrohre war z. B. x = $\frac{3}{2}$ Zoll, daher der Halbmesser des Abweichungskreises = $\frac{3}{110}$. In §. 79 haben wir den Abweichungskreis wegen der Kugelgestalt desselben Fernrohrs = 0 • 000007 Zoll gefunden und dieser ist daher über 3900 mal geringer als jener. Durch diese Vergleichung wird die Schädlichkeit der Farbenabweichung noch einleuchtender. Sie wird indessen in ihrem Einflusse dadurch gar sehr beschränkt, daß die Lichtintensität des Farbenabweichungskreises m n in der Mitte am stärksten ist, von da aber nach dem Rande hin ungemein abnimmt, während der Farbenabweichungskreis an verschiedenen Stellen nicht sehr verschiedene Lichtintensität besitzt. Eine kleinere Kugelabweichung wird also ebenso viel Undeutlichkeit verursachen können als eine weit größere Farbenzerstreuung

§. 82. Die Bestimmung der Hauptpunkte der Linsen.

Nachdem wir im Allgemeinen die Theorie der Linsen kennen gelernt, gehen wir noch zu einigen allgemeinen Bemerkungen über die Brechung des Lichtes an Linsen, wenn sie auch ihre bisherige Form aufgeben und kugelförmig werden, über. Wir besprechen daher, da wir es im Auge mit der Brechung des Lichtes an nahehin kugeligen Flächen zu thun haben und später von diesem Organe genauer sprechen werden, hier an Ort und Stelle die Theorie. Die Gesetze der Brechung vereinfachen sich für eine jede solche Fläche außerordentlich, wenn das Licht nur unter sehr kleinen Einfallswinkeln, d. h. mehr senkrecht auf sie fällt, oder auch, wenn die Mittelpunkte der Kugelflächen alle in einer geraden Linie der Axe des Systems liegen, wenn sie centrirt sind. Licht, dessen Strahlen hinreichend verlängert alle durch einen Punkt gehen, d. h. homocentrisches Licht, wird, nachdem

es durch ein solches System gegangen ist und alle brechende Flächen nur unter kleinen Einfallswinkeln getroffen hat, entweder in einen Punkt sich wieder vereinigen, oder so fortgehen, als käme es alles von einem leuchtenden Punkte her, also wieder homocentrisch sein.—

Den Convergenzpunkt der Lichtstrahlen nennt man in beiden Fällen das optische Bild des ursprünglich leuchtenden Punktes, oder da Lichtstrahlen, welche von dem Orte des Bildes ausgehen würden, an der Stelle des ursprünglich leuchtenden Punktes wieder vereinigt werden würden, nennt man den Ort des leuchtenden Punktes und den seines Bildes auch conjugirte Vereinigungspunkte der Strahlen.

Reell nennt man das optische Bild, wenn die Lichtstrahlen, welche von dem leuchtenden Punkte ausgegangen sind, in ihm wirklich zur Vereinigung kommen. Dies kann nur geschehen, wenn das Bild hinter den brechenden Flächen liegt (convexe Glaslinsen, Brenngläser). Virtuell nennt man das Bild, wenn der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in ihren rückwärtsgezogenen Verlängerungen vor der letzten brechenden Fläche liegt (concave Glaslinsen, Zerstreuungsgläser).—

Die Lage und Größe der optischen Bilder, welche centrirte Systeme von kugeligen brechenden Flächen entwerfen, so wie auch der Gang eines jeden durch sie hindurchgegangenen Lichtstrahles, der sämmtliche brechende Flächen unter sehr kleinen Einfallswinkeln passirt hat, ist nach verhältnißmäßig einfachen Regeln zu bestimmen, wenn man gewisse Punkte, die optischen Cardinalpunkte des Systems kennt. Es giebt drei Paare von solchen Punkten, nämlich die beiden Brennpunkte, die beiden Hauptpunkte und die beiden Knotenpunkte.

Man nenne die Seite des Systems, von der das Licht herkommt, die erste, die nach der es hingeht, die zweite Seite; das Brechungsverhältniß des ersten Mittels sei n_1, das des letzten n_2.

Der erste Brennpunkt ist dadurch bestimmt, daß jeder Strahl, der vor der Brechung durch ihn geht, nach der Brechung parallel mit der Axe wird.

Der zweite Brennpunkt ist dadurch bestimmt, daß durch ihn jeder Strahl geht, der vor der Brechung parallel der Axe ist.

Der zweite Hauptpunkt ist das Bild des ersten, d. h. Strahlen, welche im ersten Mittel durch den ersten Hauptpunkt gehen, gehen nach der letzten Brechung durch den zweiten. Ebenen, senkrecht zur Axe durch die Hauptpunkte gelegt, heißen Hauptebnen. Die zweite Hauptebene ist das optische Bild der ersten, und zwar sind es die einzigen zusammengehörigen Bilder, welche gleich groß und gleich gerichtet sind. Durch diese Bedingung ist die Lage der Hauptpunkte bestimmt.

Der zweite Knotenpunkt ist das Bild des ersten. Ein Strahl, der im ersten Medium nach dem ersten Knotenpunkte gerichtet ist, geht nach der Brechung durch den zweiten Knotenpunkt, und die Richtungen des Strahls vor und nach der Brechung sind einander parallel. Die durch die Knotenpunkte senkrecht gegen die optische Axe gelegten Ebenen heißen Knotenebenen. Die Entfernung des ersten Hauptpunktes vom ersten Brennpunkte ist die erste Hauptbrennweite. Sie wird positiv gerechnet, wenn der erste Hauptpunkt im Sinne der Fortbewegung des Lichtes hinter dem ersten Brennpunkte liegt.

Wir folgen hier nicht weiter dem Inhalte verschiedener geistreicher Arbeiten „über Brechung der Lichtstrahlen in centrirten Systemen kugeliger Flächen" von Möbius und Bessel, Ganß und Enke, weil sie insofern für den Practiker keinen besondern Werth haben, als die Theorie tiefe mathematische Kenntnisse erfordert, und selbst auch die Theorie der Kettenbrüche, die bei Möbius wie bei Bessel eine Hauptrolle spielt, ihre Schwierigkeiten dem Künstler bereitet. Wir folgen daher den Angaben von Helmholtz und geben nur im Allgemeinen die Thatsachen an, ohne die Rechnungen aus-

führlich folgen zu lassen, zumal diese für den ausübenden Künstler meistens gleichgültig sind.

Bezeichnen wir, an das Vorhergehende anknüpfend, AB als die Axe des Systems (Taf. XVI, Fig. 2) und A als die Richtung, wo das Licht herkommt, ist f_1 der erste und $f_{,,}$ der zweite Brennpunkt, $h_,$ der erste und $h_{,,}$ der zweite Hauptpunkt, $k_,$ der erste und $k_{,,}$ der zweite Knotenpunkt, so ist $f_, h_,$ die positive erste Hauptbrennweite. Dagegen $f_{,,} h_{,,}$ als die Entfernung des zweiten Hauptbrennpunktes vom zweiten Hauptpunkte ist die zweite Hauptbrennweite, positiv gerechnet, wenn, wie in der Figur, der Brennpunkt hinter dem Hauptpunkte liegt. —

Die Entfernung des ersten Knotenpunktes vom ersten Brennpunkte ist gleich der zweiten Hauptbrennweite, die des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte gleich der ersten Hauptbrennweite. Also

$$\left.\begin{array}{l} f_, k_, = f_{,,} h_{,,} \\ f_, h_, = f_{,,} k_{,,} \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

hieraus folgt, daß der Abstand der gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte von einander gleich dem Unterschiede der beiden Brennweiten sei:

$$k_, h_, = k_{,,} h_{,,} = f_{,,} h_{,,} - f_, h_, \quad (b)$$

und daß außerdem der Abstand der beiden Hauptpunkte von einander gleich sei dem Abstande der beiden Knotenpunkte von einander,

$$h_, h_{,,} = k_, k_{,,} \quad . \quad . \quad (c)$$

Endlich verhalten sich die beiden Hauptbrennweiten zu einander, wie die Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mittels

$$\frac{f_, h_,}{n_,} = \frac{f_{,,} h_{,,}}{n_{,,}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d).$$

Ist also das letzte Mittel dem ersten homogen, somit $n_1 = n_2$ wie es bei allen optischen Instrumenten, nicht jedoch beim Auge der Fall ist, so sind die beiden Hauptbrennweiten gleich und nach Gleichung (b) fallen die

gleichnamigen Hauptpunkte und Knotenpunkte zusammen. —

Legt man senkrecht zur Axe Ebenen durch die beiden Brennpunkte, so heißen diese Brennebenen. Lichtstrahlen, welche von einem Punkte der ersten Brennebene ausgegangen sind, sind nach der Brechung unter einander parallel, und da nach der Definition der Knotenpunkte der vom leuchtenden Punkte nach dem ersten Knotenpunkte gerichtete Strahl nach der Brechung seiner ursprünglichen Richtung parallel sein soll, so müssen alle Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte in der ersten Brennebene ausgegangen sind, jenem Strahle nach der Brechung parallel sein. —

Strahlen, welche im ersten Mittel unter einander parallel sind, vereinigen sich in einem Punkte der zweiten Brennebene, und da derjenige von den parallelen Strahlen, welcher durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der Brechung vom zweiten Knotenpunkte aus seiner frühern Richtung parallel weiter geht, so muß der Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen da liegen, wo dieser letzte Strahl die zweite Brennebene schneidet.

§. 83. Der Gang eines Lichtstrahls durch verschiedene Medien.

Wir folgen nun noch (nach Helmholtz) der Aufgabe: Wenn der Weg ab eines Strahles im ersten Medium gegeben ist, seinen Weg im letzten Medinm zu finden.

Es sei a der Punkt, wo er die erste Brennebene schneidet (Taf. XVI, Fig. 3), b der Punkt, wo er die erste Hauptebene schneidet, wobei im Allgemeinen die beiden Punkte a und b nicht in der Ebene mit der Axe des Systems A B liegen werden. Das Bild des Punktes b liegt in der zweiten Hauptebene da die eine Hauptebene das Bild der andern ist; und da ferner in diesem Falle das eine Bild dem andern gleich und gleich gerichtet

sein soll, so liegt das Bild des Punktes b der ersten Hauptebene in c, dem Fußpunkte des von b auf die zweite Hauptebene gefällten Lothes bc. Jeder Lichtstrahl, der von b ausgeht oder durch b hindurchgeht muß also nach der Brechung durch c gehen, als dem Bilde von b. Somit auch die Fortsetzung des Strahles a b.

Zweitens geht der Strahl ab durch den Punkt der ersten Brennebene. Jeder Strahl, welcher von einem Punkte der ersten Brennebene ausgeht, ist aber nach dem Frühern nach der Brechung parallel dem Strahle, welcher von jenem Punkte a nach dem ersten Knotenpunkte geht. Also muß der Strahl ab nach der Brechung durch c gehen und parallel a k, sein. Man ziehe c d parallel a k, so ist cd der gebrochene Strahl. —

Nach dem Frühern, wie wir die Eigenschaft der zweiten Brennebene kennen gelernt, kann man auch (Taf. XVI, Fig. 4) das Loth bc auf die zweite Hauptebene fällen, k„ e parallel ab ziehen, welches in e die zweite Hauptebene schneidet, dann ist ce der gebrochene Strahl, der mit cd zusammenfällt. —

Wenn somit a als leuchtender Punkt gegeben ist, dessen Bild gefunden werden soll, so hat man nur von a aus zwei Strahlen nach der ersten Hauptebene zu ziehen und ihren Weg nach der Brechung zu construiren. Wo sie sich schneiden, liegt das Bild von a. Liegt a außerhalb der Axe, so ist es am bequemsten den mit der Axe parallelen Strahl ac und den nach dem ersten Knotenpunkte gehenden ak, zu benutzen. Ist c der Punkt, wo der erste Strahl die zweite Hauptebene schneidet, so ziehe man c f„ und verlängere es rückwärts oder vorwärts hinreichend, bis es die durch k„ mit a k, gelegte Parallele in e schneidet, dann ist e der Ort des Bildes. — Daß der Strahl a c nach der Brechung längs c e und a k, längs k„ e geht, ergiebt sich aus dem Früheren.

Liegt der Punkt a in der Axe, so geht einer seiner Strahlen in der Axe fort und zwar ungebrochen, man

darf deshalb nur irgend einen andern Strahl construiren, der außerhalb der Axe verläuft.

Wir lassen nun noch einige Sätze, ohne ihren analytischen Beweis zu geben, folgen:

Um einen Punkt im mittlern Medium zu finden, dessen Bilder die beiden Hauptpunkte sind, theile man die Entfernung zwischen dem zweiten Hauptpunkte des ersten und dem ersten Hauptpunkte des zweiten Systems in zwei Theile, die sich wie die zu diesen Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten der beiden Systeme verhalten.

In der biconvexen Linse, in welcher der eine Krümmungsradius v_1 positiv, der andere v_2 negativ, ist die Brennweite immer positiv und die Abstände der Hauptpunkte von den Flächen sind negativ, d. h. diese Punkte liegen innerhalb der Linse, doch ist ihr Abstand positiv, weil der erste vor dem zweiten liegt. Bei den planconvexen, bei denen die Radien unendlich groß, fällt ein Hauptpunkt in die gekrümmte Fläche der Linse.

Bei den biconcaven Linsen ist v_1 negativ und v_2 positiv, die Brennweiten sind negativ, die Abstände der Hauptpunkte von den Flächen beide negativ, d. h. die Hauptpunkte liegen in der Linse. Ihr Abstand ist positiv, d. h. der erste liegt vor dem zweiten.

Bei den Concavconvex-Linsen, bei welchen beide Radien entweder positiv oder negativ, wird die Brennweite positiv, wenn (d den Abstand der beiden Hauptpunkte bezeichnend) $n_2 (r_2 + d - r_1) > n_1 d$. (1)
sie wird unendlich, wenn $n_2 (r_2 + d - r_1) = n_1 d$. (2)
sie wird negativ, wenn $n_2 (r_2 + d - r_1) < n_1 d$. (3).

Es ist aber $r_2 + d - r_1$ der Abstand des Krümmungsmittelpunktes der zweiten Fläche von dem der ersten nach hinten gerechnet. Liegt der zweite Mittelpunkt hinter dem ersten, so wird die Linse von ihrer Mitte nach dem Rande zu dünner, liegt jener vor dem ersten, so wird er dicker. Man kann also sagen: Wird eine concavconvexe Linse nach dem Rande zu dicker, so ist ihre Brennweite negativ, und soll ihre Brennweite positiv sein, so muß sie nach dem Rande hin dünner

werden. Aber man kann beide Sätze nicht umkehren, wie es so oft geschieht.

Findet (1) statt, so liegt der erste Hauptpunkt vor der convexen Fläche und der zweite Hauptpunkt liegt vor der concaven Fläche der Linse. — Findet (3) statt, so liegt der erste Hauptpunkt hinter der convexen Fläche und der zweite Hauptpunkt hinter der concaven Fläche der Linse. Findet (2) statt, so entfernen sich beide Hauptpunkte bis in's Unendliche. —

Bei einer positiven Brennweite liegt der zweite Hauptpunkt immer hinter dem ersten, d. h. der Linse näher. Bei einer negativen liegt er hinter dem ersten, also der Linse ferner, wenn die Linse dem Rande zu dicker wird; er liegt vor der ersten, wenn die Linse bei negativer Brennweite von der Mitte nach dem Rande hin dünner wird; er fällt mit ihm zusammen, wenn die beiden Linsenflächen concentrischen Kugeln angehören, und zwar liegen dann beide Hauptpunkte in dem gemeinschaftlichen Centrum der Kugeln.

Hieraus geht hervor, daß bei Linsen mit positiver Brennweite (Sammellinsen) die Bilder unendlich weit entfernter reeller Objecte im zweiten Brennpunkte hinter der Linse liegen und im Verhältniß zum Objecte unendlich klein und umgekehrt sind. Nähert sich das Object der Linse, so entfernen sich die Bilder von ihr, bleiben reell, umgekehrt und nehmen an Größe so lange zu, bis das Object in den vordern Brennpunkt gerückt ist, wo die Entfernung und Größe des Bildes unendlich werden. Aehnlich ergeben sich auch die Gläser für Linsen mit negativer Brennweite, die man dispansive oder Zerstreuungslinsen nennt. —

§. 84. Die optischen Constanten des Auges.

Wir lassen hier nun noch, da wir von den Cardinalpunkten der Linsen im Allgemeinen gesprochen, die optischen Constanten des Auges folgen, indem wir

im Uebrigen auf die nachfolgende Betrachtung des Auges speciell verweisen.

Listing hat für ein schematisches mittleres Auge folgende Resultate gewonnen, die den von Helmholtz gefundenen sehr nahe stehen.

Listing nimmt an:

1) Brechungsvermögen der Luft . . .	1 Millim.
2) Brechungsvermögen der wässerigen Flüssigkeit	$\frac{103}{77}$ „
3) Brechungsvermögen der Krystallinse .	$\frac{16}{11}$ „
4) Brechungsvermögen des Glaskörpers	$\frac{103}{77}$ „
5) Krümmungshalbmesser der Hornhaut	8 „
6) Krümmungshalbmesser d. vordern Linsenfläche .	10 „
7) Krümmungshalbmesser d. hintern Linsenfläche .	6 „
8) Entfernung der vordern Hornhaut — und vordern Linsenfläche . .	4 „
9) Dicke der Linse	4 „

Hieraus ergiebt die Brechung:

1) Der erste Brennpunkt liegt 12,8326 Millimeter vor der Hornhaut,

der zweite Brennpunkt 14,6470 Millimeter hinter der Hinterfläche der Linse.

2) Der erste Hauptpunkt liegt 2,1746 Millim.,

der zweite Hauptpunkt 2,5724 Millim. hinter der Vorderfläche der Hornhaut.

Der Abstand beider beträgt 0,3978 Millim.

3) Der erste Knotenpunkt liegt 0,7580 Millim.,

der zweite Knotenpunkt 0,3602 Millim. vor der Hinterfläche der Linse.

4) Die erste Hauptbrennweite des Auges beträgt 15,0072,

die zweite 20,0746 Millim.

§. 85. Das katoptrische und dioptrische Beleuchtungssystem.

Nachdem die Gesetze der Spiegelung ebener Spiegel und der Hohlspiegel ausführlicher besprochen und die Brechung der Strahlen durch Linsen gründlich erläutert ist, so können wir hieran anschließend das katoptrische und dioptrische System der Beleuchtung folgen lassen. Wir legen Einiges aus der interessanten Zusammenstellung von Heß zu Grunde, und müssen nun folgendes einsehen:

Die Eigenschaft der Parabel, daß eine Linie, vom Brennpunkte nach einem beliebigen Punkte der Curve gezogen, mit der Tangente jenes Punktes einen Winkel bildet, welcher demjenigen gleich ist, den eine Parallele mit der Axe der Curve mit der Tangente einschließt, ist für die Beleuchtung wichtig. Es folgt aus diesem Satze, daß die Parabel, um ihre Axe gedreht, eine innere Fläche giebt, welche alle aus dem Brennpunkte auf sie fallenden Strahlen parallel mit der Richtung der Axe zurückwirft. Es ergiebt sich also, statt des einen mit der Axe parallelen Strahls, beim einfachen Lichte ein ganzes Strahlenbündel, welches die verticale Projection des Paraboloids zur Basis hat.

Barlow stellte zuerst vollständigere Untersuchungen über die Lichtverstärkung an, welche man durch Reflectoren erlangt. Es sei (Taf. XII, Fig. 1) L die Lampe m, m seien zwei Reflectoren, welche entweder so gestellt werden können, daß sie die reflectirten Strahlen entweder in paralleler Richtung auf den Schirm P′ P″, oder auf die unmittelbar von den Strahlen der Lampe L erhellte Fläche werfen. Der Schirm s s möge in dem Maße durchsichtig sein, daß beim Durchgange der Strahlen durch denselben die gleiche Quantität Licht verloren geht, welche durch die reflectirenden Spiegel absorbirt wird. Werden nun die Strahlen, parallel mit den ursprünglichen von L nach P gehenden Lichtstrahlen,

von den Spiegeln m, m auf den Schirm P′P″ geworfen, so erhält man drei gleich große und gleich stark beleuchtete Flächen.

Werden die Spiegel so gestellt, daß die reflectirten Strahlen mit den direct von der Lampe ausgehenden Strahlen in P zusammenfallen, so erhält man zwar keine größere beleuchtete Fläche, aber die Intensität der Beleuchtung ist um das Dreifache gestiegen. Setzt man diese Betrachtungen weiter fort, so sieht man leicht, daß die Beleuchtungskraft der Zahl der Spiegel, oder, was dasselbe ist, der auf den Schirm projicirten Oberfläche derselben, proportional ist. Stellt man sich daher den ganzen Raum zwischen m und m durch Spiegel ausgefüllt vor, welche die Strahlen parallel mit dem ursprünglichen Strahl auf den Schirm P′P″ werfen, so wird die Beleuchtungskraft des Reflectors durch das Verhältniß des durch die directen Strahlen entstandenen Bildes und der ganzen Oberfläche des Schirmes P′P″ ausgedrückt werden. Es ändert sich in diesem Verhältniß nichts, die Strahlen mögen auf eine kleinere Oberfläche zusammengedrängt, oder auf eine größere zerstreut werden: denn im ersten Falle nimmt die Intensität der Beleuchtung zu, im letzten nimmt sie ab. Es ist demnach das Maß der Beleuchtungskraft eines Reflectors die verticale Endfläche desselben, dividirt durch die wirksame Fläche des Lichtes, vermindert um den Lichtverlust bei der Reflexion.

Die verstärkende Kraft eines Reflectors läßt sich auch noch auf andere Weise finden; denn die Leuchtkraft der auf den Reflector fallenden Strahlen verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Reflectors von dem leuchtenden Punkte, oder direct wie das Quadrat des halben Winkels, welchen die äußersten Strahlen bilden; oder auch direct wie der Sinusversus desselben halben Winkels. Diese Größen sind, um die verstärkende Kraft zu finden, mit dem Sinusversus des halben Winkels, welchen der leuchtende Körper mit einem Punkte auf dem Reflector bildet, zu vergleichen.

Für parabolische Spiegel hat man, um die Vergleichung auszuführen, die mittlere Entfernung der spiegelnden Fläche von dem Brennpunkte zu suchen. Es sei (Tafel XII, Fig. 2) ADB ein parabolischer Reflector, C der Brennpunkt, so ist DC die kleinste, AC die größte Focaldistanz. Die von C ausgehenden und auf den Spiegel ADB fallenden Strahlen werden mit der Axe parallel auf die Tafel GH = AB = der Oeffnung des Paraboloids geworfen. Wird nun von C aus der Theil einer Kugeloberfläche m o n beschrieben, welche dieselbe Menge Lichtstrahlen auffängt, wie das Paraboloid, und deren Fläche gleich der Fläche AB = GH ist, so ist auf derselben die gleiche Lichtmenge gleichmäßig vertheilt; es muß mithin der Radius dieser Kugel die mittlere Focaldistanz sein. Um C o zu finden, beschreibe man aus C mit C A den Theil AEB einer Kugelfläche. Es ist C A = DF + DC, folglich E D = D F, EF = EC + C F = AC + CF, mithin DF = $\frac{1}{2}$ (AC + CF). Die kleinste Focaldistanz ist D C = DF — CF = $\frac{1}{2}$ (AC — CF).

Ist A C = r, C F = h, so ist die größte Focaldistanz = r, die kleinste = $\frac{1}{2}$ (r — h). Die Oberfläche des Kugelsegments AEB ist $2 r \pi (r + h)$ und die Oberfläche von A B ist $(r^2 - h^2) \pi$. Ist der Radius des gesuchten Kugelsegments m o n = x, so verhalten sich die Oberflächen der Segmente AEB und m o n wie r^2 zu x^2. Da die Fläche des Kugelsegments m o n gleich der verticalen Fläche AB = $\pi (r^2 - h^2)$ ist, so erhält man die Proportion:

$$2 r \pi (r + h) : \pi (r^2 - h^2) = r^2 : x^2, \text{ also}$$
$$2 r (r + h) x^2 = (r^2 - h^2) r^2 \text{ und}$$
$$x^2 = \frac{r^2 - h^2}{2 r (r + h)} \cdot r^2 = \tfrac{1}{2} r (r - h), \text{ folglich}$$
$$x = \sqrt{(\tfrac{1}{2} r (r - h))}.$$

Mithin ist die mittlere Focaldistanz die mittlere Proportionale zwischen der größten und der kleinsten Focaldistanz. Barlow berechnete die Verstärkung für einen Reflector, der von einer Argand'schen Lampe

(die 1 Zoll im Durchmesser haltende Flamme war $1\frac{3}{4}$ Zoll hoch) beleuchtet, 12 Zoll größte und 3 Zoll kleinste Focal-Distanz hatte. Er fand nach der ersten Methode für die Verstärkung der einfachen Flamme 193,8, nach der zweiten Methode 192,9. Für ein Drummond'sches Licht, dessen Kreidekugel $\frac{3}{8}$ Zoll Durchmesser hatte, fand sich eine Verstärkung von 3079 und 3071. Nach Alan Stevenson ist die größte Verstärkung der gewöhnlichen festen Feuer durch Reflectoren 350, und die der Drehfeuer, welche größere Reflectoren haben, 450.

Würde in dem Brennpunkte eines genau parabolischen Spiegels ein unendlich kleines Licht angebracht, so würde von der Fläche des Reflectors ein Strahlenbündel ausgehen, welches in allen Theilen einen gleichen Querschnitt und gleiche Intensität hätte; es läßt sich dies aber nicht erreichen, da man weder vollkommen genau parabolische Spiegel, noch unendlich kleine leuchtende Körper herstellen kann; auch würden solche genaue mathematische Verhältnisse für die Praxis unbrauchbar sein, wie leicht aus der folgenden Betrachtung erhellet. Es werde nämlich in den Brennpunkt eines genau parabolischen Spiegels, dessen größte doppelte Ordinate 2 Fuß ist, ein leuchtender Punkt gebracht, so geht von dem Reflector ein mit der Axe paralleles cylindrisches Strahlenbündel aus. Läßt man nun den Reflector um eine verticale Axe sich drehen, und zwar so schnell, daß der Strahlencylinder in einer Sekunde das Auge eines 100 F. entfernten Beobachters passirt, so würde ein 15 engl. Meilen entfernter Beobachter den Strahlencylinder nicht mehr sehen, da er sich nur $\frac{1}{792}$ Sekunde lang dem Auge zeigen würde; eine viel zu kurze Zeit, um einen hinreichend deutlichen Eindruck hervorzubringen.

Dieser theoretische Mangel macht sich in der Praxis nicht fühlbar.

Die Reflectoren der besseren Leuchtapparate werden aus Kupfer gemacht und mit Silber plattirt. Auf 16 Unzen Kupfer nimmt man 4 Unzen Silber. Mit Schlägeln und Hämmern von verschiedener Form und aus

verschiedenem Stoff werden die Bleche in die parabolische Form gebracht, und die innere Fläche wird sorgfältig polirt.

Außer den einfachen Reflectoren hat man noch verschiedene Verbindungen von spiegelnden Flächen theils blos vorgeschlagen, theils auch ausgeführt. Zu den ersteren gehört die von Barlow in den „London Transactions 1837, p. 225“ angegebene Verbindung eines kugelförmigen Hohlspiegels mit dem parabolischen Spiegel. Der erstere, dessen Mittelpunkt mit dem Focus des parabolischen Reflectors zusammenfällt, wird zwischen die Flamme und das Auge des Beobachters gebracht; die aufgefangenen Strahlen werden durch den Mittelpunkt auf den Hauptreflector geleitet und von diesem in horizontaler Richtung zurückgeworfen. Entstände kein Verlust an Leuchtkraft durch die Reflexion des kleinen Spiegels, so hätte man die Summe der Strahlen erlangt, welche der Hauptreflector auf den kleinen Spiegel wirft.

Eine ziemlich ausgedehnte Anwendung hat das sogenannte „Sideralfeuer“ von Bordier Marcet gefunden; besonders für Häfen. Das Characteristische des Reflectors ist auch ohne Zeichnung leicht verständlich. Man stelle sich nämlich eine Parabel um ihren Parameter als Axe gedreht vor, und in den Mittelpunkt dieser Axe einen leuchtenden Gegenstand gebracht; so werden die Strahlen desselben, welche auf die durch Umdrehung entstandene Fläche fallen, horizontal nach allen Seiten zurückgeworfen. Es kann also der Horizont durch eine Flamme nach allen Seiten gleichförmig erleuchtet werden. Für die Hafenfeuer der französichen Küste hat dieser Apparat meistens nur 15 Z. im Durchmesser.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden zuerst in England Linsengläser auf verschiedenen Leuchtthürmen benutzt, um das Licht zu verstärken. Die unvollkommene Form derselben und die große Menge Licht, welche das unreine und dicke Glas verschluckte, machten jedoch, daß man, nach verschiedenen seltsamen Zusammenstellungen von Linsen und Spiegeln, zu den letzteren

zurückkehrte. Die Vortheile einer aus mehreren ringförmigen Theilen zusammengesetzten Linse hob zuerst im Jahre 1773 Condorcet hervor. Brewster beschrieb in der „Edinburgh Encyclopaedia“ im Jahre 1811 ein Verfahren, solche Linsen herzustellen, und erst 1822 lieferte Fresnel, unbekannt mit den oben genannten Schriften, eine genaue Beschreibung der Construction ringförmiger Linsen. Die Ausführung folgte der Beschreibung bald nach, und eine stark leuchtende Lampe machte den Apparat für Leuchtthürme geeignet. Die großen Vortheile dieser Einrichtung sind: daß die Ausführung leichter und sehr genau möglich ist, daß die sphärische Aberration fast ganz beseitigt wird, und daß auch größere Linsen sich herstellen lassen. Die plan-convexen Linsen für Leuchtthürme macht man gewöhnlich aus Crownglas, welches zwar eine geringere beugende Kraft als das Flintglas und dazu eine grünliche Farbe hat, aber sehr homogen geliefert werden kann, und den atmosphärischen Einflüssen gut widersteht.

§. 86. Fresnel's Linsen erster Classe.

Statt der theoretischen Berechnung der Linsen lassen wir für den Practiker die verschiedenen Radien und Coordinaten der Mittelpunkte einer Fresnel'schen Linse erster Classe, deren Focal-Distanz 920 Millimeter, in Millimetern folgen. Die Ansicht ist Taf. XII, Fig. 3.

Nr.	Halbmesser der Peripherie.	Krümmungs-Halbmesser.	Coordinaten der Mittelpunkte für die Krümmungshalbmesser. x.	y.
1	140,00	483,50	454,79	00,00
2	208,15	543,60	488,55	13,08
3	262,40	598,62	513,38	31,72
4	309,20	659,77	540,71	57,00
5	350,50	719,84	565,27	84,86
6	387,44	779,48	588,00	114,93
7	422,23	846,45	614,35	151,50
8	456,23	911,30	636,90	189,55
9	490,00	980,30	660,11	230,17
10	523,33	1057,70	683,41	280,60
11	553,33	1136,01	712,79	328,00

Die ersten von Soleil in Paris verfertigten Linsen waren aus Zonen zusammengesetzt, welche unter einander durch kleine kupferne Stifte verbunden waren. Die größere Genauigkeit der Arbeiter macht jetzt dergleichen Befestigungen entbehrlich; die Zonen werden nur durch einen metallischen Rahmen zusammengehalten, indem sie mit ihren concentrischen, nur $\frac{1}{4}$ Linie breiten Endflächen genau auf einander passen; eine dünne Lage Kitt verbindet die sich berührenden Theile.

Sowie bei den Reflectoren der leuchtende Gegenstand eine gewisse Ausdehnung haben muß, um die nothwendige Divergenz der Strahlen hervorzubringen, so ist auch das gleiche bei den Linsen nöthig. Die Divergenz richtet sich, wie bei den Reflectoren, nach dem Winkel, welchen eine vom Focus nach der Linse gezogene Linie und eine Tangente der Flamme, nach demselben Punkt gezogen, einschließen: je größer dieser Winkel ist, desto größer ist die Divergenz. Daraus folgt unmittelbar, daß, wie bei den Reflectoren, in der Mitte die größte und an den Enden die geringste Divergenz der Lichtstrahlen stattfindet. An dem Scheitel der Fresnelschen Linsen erster Classe findet sich für den Divergenz-

winkel 5 Gr. 7 Min. Um die verstärkende Kraft der Linsen zu finden, würden dieselben Sätze anzuwenden sein, wie bei den Reflectoren; da aber wegen der viereckigen Form der Linsen eine mittlere Focaldistanz nur mit großer Schwierigkeit sich finden läßt, so kann man mit hinreichender Genauigkeit die vergrößerte Kraft der Beleuchtung aus der Oberfläche der Linse finden, dieselbe dividirt durch die Oberfläche der Flamme.

Die Linsen werden in einem gemeinschaftlichen Rahmen so zusammengefügt, daß sie ein hohles achtseitiges Prisma bilden, in dessen Mitte die Lampe aufgestellt ist; ein Uhrwerk dreht den Rahmen um; wodurch dann einem entfernten Beobachter das Licht sichtbar wird, wenn sich sein Auge der optischen Axe einer der Linsen nähert. Die Wirkung unterscheidet sich von der der Reflectoren durch größere Intensität und kürzere Dauer.

Da die über und unter einem Winkel von 46 Gr. von der Lampe ausgehenden Strahlen nicht mehr vortheilhaft von dem Linsen-Apparat aufgenommen werden können, so ersann Fresnel ein anderes Mittel, um auch diese Strahlen noch zu benutzen. Um die oben entweichenden Strahlen aufzufangen, bediente er sich acht kleinerer Linsen von 500 Millimeter Focal-Distanz, welche gegen die Lampe, als ihren gemeinschaftlichen Brennpunkt, geneigt, eine abgestumpfte, hohle, achtseitige Pyramide von 50 Gr. Neigung bildeten. Das Licht, welches auf diese kleineren Linsen fällt, wird parallel mit der Axe derselben gebrochen, geht also unter einem Winkel von 50 Gr. aufwärts und trifft auf 8 ebene Spiegel, welche eine solche Neigung haben, daß sie die Lichtstrahlen horizontal zurückwerfen. Die oberen Linsen ordnet man gewöhnlich so an, daß ihre Axen mit der Axe der großen Linse Winkel von 7 bis 8 Gr. bilden. Die Lichtstrahlen, welche von den kleinen Linsen gebrochen und von den Spiegeln reflectirt werden, gelangen auf diese Weise früher als die Hauptstrahlen in das Auge des Beobachters; wodurch dann der Hauptfehler der Drehfeuer, die Kürze der Dauer des Lichtblicks, vermieden

wird. Die obern Hülfslinsen werden ganz auf dieselbe Weise berechnet, wie es bei den Hauptlinsen angegeben ist. Fresnel nahm die Focal-Distanz gleich der für Linsen dritter Classe an und beschränkte ihre Maße, um ein zu großes Gewicht zu vermeiden.

Die nach unten entweichenden Strahlen werden von mehreren, über einander liegenden schmalen Spiegeln, welche die Lampe kreisförmig umgeben, reflectirt. Jede spiegelnde Fläche besteht aus demjenigen Theile des Paraboloids, dessen Focus der Mittelpunkt der Flamme ist. Da die Herstellung der Spiegelflächen nach der Parabel schwierig sein würde, so schleift man sie nach dem Krümmungshalbmesser jedes einzelnen Stücks, welchen man durch die folgende für die Praxis bequeme Formel findet. Es sei (Taf. XII, Fig. 4) F der Brennpunkt einer Parabel: es soll für das Stück Pp der Krümmungshalbmesser gefunden werden, dessen Länge durch die sich schneidenden Normalen OP und Op gegeben ist. Die Dreiecke Ppd und Nen sind ähnlich, folglich ist:

$$Pd : Pp = PH : PN \text{ und}$$
$$Ne : Nn = PH : PN.$$

Da annähernd $Pd = Nn$ ist und die Dreiecke OPp und NOe ähnlich sind, so ist

$$Ne : Pp = PH^2 : PN^2,$$
$$Ne : Pp = NO : PO,$$

mithin

$$PH^2 : PN^2 = NO : PO.$$

Es ist aber nach dem pythagorischen Lehrsatze

$$PN^2 - PH^2 = HN^2;$$

ferner ist

$$PO - NO = NP, \text{ also } HN^2 : PN^2 = NP : PO$$
$$\text{und } PO = \frac{PN^3}{HN^2}.$$

Setzt man $FP = HC = FN = \varrho$, $HN = \varrho - z$,

so ist $FP^2 - FH^2 = PH^2 = \varrho^2 - z^2$,

$$PN^2 = PH^2 + HN^2 = (\varrho^2 - z^2) + (\varrho^2 - 2\varrho z + z^2) = 2\varrho^2 - 2\varrho z,$$
$$PN = \sqrt{(2\varrho(\varrho - z))},$$

mithin findet sich

$$PO = \frac{\sqrt{[2\varrho(\varrho - z)]^3}}{(\varrho - z)^2} = \sqrt{\left(\frac{[2\varrho(\varrho - z)]^3}{(\varrho - z)^4}\right)}$$

$$PO = 2\sqrt{\left(\frac{2\varrho^3}{\varrho - z}\right)}.$$

Die Spiegel bestehen aus Glastafeln, welche auf der Rückseite versilbert und in flache messingene Rahmen eingeschlossen sind.

Der Vortheil fester Feuer mit dioptrischen Apparaten war zu ersichtlich, als daß Fresnel nicht bald hätte nähere Untersuchungen darüber anstellen sollen. Nimmt man den verticalen mittleren Durchschnitt einer aus Zonen zusammengesetzten Linse an, so wird jeder Punkt desselben die auf ihn fallenden Lichtstrahlen in horizontaler Richtung hinauswerfen. Stellt man sich nun diesen Querschnitt um die verticale, durch den Focus gelegte Axe gedreht vor, so entsteht ein cylindrischer Körper, welcher sämmtliche ihn treffende Lichtstrahlen parallel mit dem Horizonte beugt. Die Schwierigkeit der Herstellung eines solchen Körpers erschien Fresnel aber so groß, daß er auf diese vollkommene Form verzichtete und ein helles Prisma von vieleckigem Querschnitt an seine Stelle setzte. Er gab demselben so viele Seiten, daß durch die Divergenz der Strahlen die Winkel, welche zwei Seiten bilden, fast gleich stark beleuchtet werden.

Wegen des bedeutenden Verlusts an Licht, der an der Oberfläche auch der vollkommensten Spiegel entsteht, hielt es Stevenson für gut, an die Stelle der oberen und unteren Spiegel dioptrische Apparate zu setzen; so wie sie schon im kleineren Maßstabe von Fresnel angeordnet waren. Versuche mit $1\frac{1}{2}$ Linien dickem Crownglase zeigten, daß der Lichtverlust etwa $\frac{2}{7}$ betrug, während der Verlust bei Spiegeln der Leuchtfeuer erster Classe, den Verlust wegen der nothwendigen Zwischenräume eingerechnet, $\frac{2}{3}$ des einfallenden Lichts ausmacht. Es war also zu erwarten, daß doppelt so viel Licht von den Refractoren als von den Reflectoren hinausgeworfen wer-

den würde: eine Vermehrung der Leuchtkraft, welche um so wichtiger ist, da sie keiner Vermehrung des Brennstoffs bedarf und vorzugsweise bei den festen Feuern anwendbar ist, die derselben am meisten bedürfen, da sie ihrer Natur nach den Drehfeuern an Helligkeit nachstehen.

Soleil stellte zuerst einen solchen Apparat für ein Leuchtfeuer dritter Classe her und unternahm es auch, den optischen Apparat für den Leuchtthurm zu liefern; welcher dann auch am Ende 1843 vollendet wurde. Die Leuchtkraft der 13 eine Kuppel bildenden obern Prismengürtel verhält sich zu der Leuchtkraft der früheren 7 Spiegelreihen wie 140 zu 87. Taf. XII, Fig. 5 zeigt links den dioptrischen, rechts den Spiegelapparat. Der dioptrische Apparat erster Classe besteht also aus den Hauptlinsen, welche 6 Fuß Durchmesser und 30 Linien Höhe haben. Unter denselben sind 6 ringförmige, im Querschnitt annähernd dreiseitige Prismen, und über den Hauptlinsen ist eine Kuppel, aus 13 polirten Glasringen zusammengesetzt.

Um diese Glasringe zu bestimmen, nehme man (Tafel XII, Fig. 6) F als Focus an; A B C und A_2 B_2 C_2 seien die Querschnitte zweier über einander liegender Ringe, von welchen die Spitze C, die Länge der Seite BC oder CA, und das Brechungsverhältniß des Glases bekannt sind. Um die Bedingung des horizontalen Hinauswerfens der auf die Fläche BC fallenden Strahlen zu erfüllen, muß der äußerste Strahl FB eine Refraction und eine Reflexion in B erleiden, nach C zurückgeworfen und dort so gebeugt werden, daß er in horizontaler Richtung den Glaskörper verläßt. Der Strahl FC muß in C so gebeugt werden, daß er nach A gelangt, dort reflectirt und so gebeugt wird, daß er ebenfalls in horizontaler Richtung fortgeht. Jeder zwischen den beiden auf BC fallende Strahl muß, gebeugt, die Fläche AB treffen, von dieser reflectirt auf AC geworfen und dann durch Refraction in die horizontale Richtung gebracht werden. Da die Winkel BCH und FCA lediglich von

der Refraction in C abhangen, so müssen beide gleich sein, und da der Winkel BCA beiden gemeinschaftlich ist, so ist ACH = BCF.

Um das Schleifen der Spiegel zu erleichtern, giebt man den Seiten AC und CB ebenfalls eine schwach gekrümmte Form und zwar an der einen Seite eine convexe, an der andern eine concave, damit die durch die erstere entstandene Convergenz durch die zweite wieder aufgehoben werde; die Radien werden für Apparate erster Classe zu 4 Metern angenommen. Die Coordinaten der Mittelpunkte lassen sich ohne Schwierigkeit finden, da alle dazu erforderlichen Stücke bekannt sind. Ist der Querdurchschnitt des untern Ringes gefunden, so hat man für den zweiten zuerst den Punkt C (Taf. XII, Figur 6) festzulegen, welchen der Durchschnitt der Horizontalen GAC_2 mit der durch B nach dem Focus gelegten Linie giebt; durch diese Anordnung wird jeder Verlust von Licht vermieden. Die Glasringe, welche als Refractoren und Reflectoren dienen, entstehen durch Umdrehung dieser krummlinigen Dreiecke um eine durch den Focus gehende verticale Axe.

§. 87. Folgende Tafeln enthalten die Bestimmungen für die ringförmigen Prismen eines Fresnel'schen Linsen-Apparats erster Classe.

	Nr. der Zonen.	φ. Neigung des Strahls FC gegen d. durch c gezogene Verticale. (Taf. XII, Fig. 6.) Gr.	Min.	Sec.	β. Einfallswinkel für FC. (Taf. XII, Fig. 6.) Gr.	Min.	Sec.	Winkel BCA. Fig. 6. Gr.	Min.	Sec.	Winkel ABC. Fig. 6. Gr.	Min.	Sec.	Winkel BAC. Fig. 6. Gr.	Min.	Sec.	BA. Sehne des Bogens BA in Millim. Tafel XII, Figur 7.	BC. Taf. XII, Fig. 7.	AC. Taf. XII, Fig. 7.
Obere Zonen.	1	60	45	38	44	06	09	117	26	40	31	48	10	30	45	10	160,311	92,379	95,209
	2	56	55	38	41	28	10	116	00	42	32	32	01	31	27	17	155,430	90,249	93,011
	3	53	05	38	38	48	29	114	31	20	33	17	30	32	11	10	151,551	88,729	91,434
	4	49	15	38	36	07	09	112	58	40	34	04	36	32	56	44	148,580	87,768	90,424
	5	45	25	38	33	24	19	111	23	00	34	53	07	33	43	53	146,444	87,332	89,947
	6	41	35	38	30	40	05	109	44	32	35	42	57	34	32	31	145,087	87,403	89,986
	7	37	45	38	27	54	34	108	03	30	36	34	01	35	22	29	144,481	87,977	90,536
	8	33	55	38	25	07	52	106	20	06	37	26	11	36	13	43	144,609	89,060	91,604
	9	30	05	38	22	20	07	104	34	36	38	19	23	37	06	01	145,476	90,671	93,209
	10	26	15	38	19	31	25	102	47	12	39	13	27	37	59	21	147,089	92,843	95,384
	11	22	25	38	16	41	54	100	58	10	40	07	14	38	54	36	145,361	93,000	95,413
	12	18	42	02	13	56	26	99	10	50	40	59	53	39	49	17	143,362	93,000	95,271
	13	15	06	03	11	16	04	97	26	07	41	51	03	40	42	49	141,373	93,000	95,127
Untere Zonen.	1	59	47	16	43	27	36	117	05	56	31	58	37	30	55	27	159,369	92,000	94,806
	2	55	48	55	40	42	01	115	35	07	32	44	43	31	40	09	158,051	92,000	94,783
	3	51	48	33	37	54	32	114	00	31	33	28	16	32	27	13	156,592	92,000	94,719
	4	47	51	11	35	07	32	112	23	53	34	20	23	33	15	44	155,083	92,000	94,619
	5	43	59	40	32	23	06	110	46	32	35	08	23	34	05	05	153,489	92,000	94,488
	6	40	16	34	29	43	19	109	10	04	35	55	37	34	54	18	151,863	92,000	94,334

(Zu Seite 276).

	Nr. der Zonen.	…genden …s Sy- …ng von …C. …n. Sec.	Die reflectirende Fläche AB. (Tafel 12, Figur 7). Radius xA = xB in Millimetern.	OX.	OA.	Winkel durch die beiden Radien gebildet. Gr. Min. Sec.	Neigung des äußern Radius. Gr. Min. Sec.
Obere Zonen.	1	…6 09	8750,19	3194,76	8466,88	1 02 59	14 38 11
	2	…8 10	8253,90	3306,80	7909,94	1 04 45	16 32 11
	3	…8 29	7850,30	3411,75	7446,67	1 06 22	18 27 11
	4	…7 09	7527,08	3514,22	7056,39	1 07 51	20 22 11
	5	…4 19	7275,23	3617,56	6730,66	1 09 12	22 17 11
	6	…0 05	7082,17	3723,81	6459,63	1 10 25	24 12 11
	7	1…4 34	6944,09	3835,23	6234,93	1 11 31	26 07 11
	8	1…7 52	6857,03	3954,67	6052,36	1 12 30	28 02 11
	9	1…0 07	6817,87	4081,70	5902,53	1 13 20	29 57 11
	10	1…1 25	6824,46	4226,67	5795,68	1 14 05	31 52 11
	11	1…1 54	6880,52	4385,63	5718,52	1 12 37	33 47 11
	12	1…6 26	6980,89	4558,83	5672,64	1 10 36	35 38 59
	13	1…6 04	7123,05	4747,24	5654,92	1 08 15	37 26 59
Untere Zonen.	1	…7 36	8674,74	3243,48	8375,64	1 03 09	15 05 22
	2	…2 01	8419,60	3456,44	8047,72	1 04 31	17 05 32
	3	…1 32	8278,82	3685,41	7823,68	1 05 01	19 05 13
	4	…7 32	8252,95	3941,89	7701,00	1 04 36	21 04 24
	5	13 06	8335,86	4228,06	7673,05	1 03 18	23 00 10
	6	13 19	8522,64	4549,97	7732,80	1 01 15	24 51 43

	AC äußere beugende Fläche (concav). (Tafel 1					
	Radius in Millimetern.	Horizontale Entfernung des Mittelpunctes von der Axe des Systems in Millimetern.	Tiefe des Mittelpuncts unter der durch A gelegten Horizontalen in Millimetern.	Neigung de[illegible] Radien geg[illegible] einander.		
				Gr.	Min.	S[illegible]
Obere Zonen.	4000,00	3825,31	2817,77	1	21	5[illegible]
		3923,65	2683,55	1	19	5[illegible]
		4015,06	2542,31	1	18	3[illegible]
		4098,54	2394,23	1	17	4[illegible]
		4173,08	2239,64	1	17	[illegible]
		4237,70	2078,82	1	17	2[illegible]
		4291,45	1912,18	1	17	48
		4333,30	1740,12	1	18	44
		4362,26	1563,10	1	20	06
		4377,24	1381,63	1	21	58
		4376,72	1194,94	1	22	00
		4360,70	1009,41	1	21	12
		4329,31	828,19	1	21	46
Untere Zonen	4000,00	3855,83	2785,60	1	21	28
		3983,21	2644,16	1	21	28
		4104,84	2494,82	1	21	24
		4218,56	2340,02	1	21	20
		4322,95	2182,17	1	21	12
		4416,91	2023,99	1	21	04

concav). (Siehe Figur 7).

… Mittelpunktes A gegen den Horizont, in Millimetern.	Neigung der Fläche gegen den Horizont. Gr. Min. Sec.	Neigung des äußeren Radius. Gr.	Min.	Sec.	Radius in Millimetern.	Horizontale Entfernung des Mittelpunktes von der Axe des Lichtes in Millimetern.	Höhe …
77	1 21 30	45	12	56	[illegible]	[illegible]	[illegible]
55	1 19 53	47	51	52		[illegible]	[illegible]
31	1 18 34	50	32	14		[illegible]	[illegible]
23	1 17 42	53	14	00		[illegible]	[illegible]
4	1 17 15	55	57	02		[illegible]	[illegible]
2	1 17 20	58	41	15		[illegible]	[illegible]
8	1 17 45	61	26	32		[illegible]	[illegible]
2	1 18 44	64	12	46		[illegible]	[illegible]
)	1 20 06	66	59	50		[illegible]	[illegible]
3	1 21 55	69	47	36		[illegible]	[illegible]
	1 22 00	72	37	06		[illegible]	[illegible]
	1 21 13	75	22	58		[illegible]	[illegible]
	1 21 46	78	03	02		[illegible]	[illegible]
	1 21 26	45	51	40	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	1 21 28	48	37	15		[illegible]	[illegible]
	1 21 24	51	24	46		[illegible]	[illegible]
	1 21 20	54	11	48		[illegible]	[illegible]
	1 21 12	56	56	18		[illegible]	[illegible]
	1 21 04	56	36	09		[illegible]	[illegible]

inere
durch eine
Zonen be-
chen Pris-
Ringe ha-
5 F). Die
urch fünf
ismenringe
eser Appa-
Fresnel
s sind au-
, um die
Seiten hin-
rahlenbün-
Umdrehung
helle Blicke
elung vor-
er hinaus-
grenzenden

vier Clas-
Frankreich

Centimeter
und wer-
Dochten er-

öße, welche
Prisma bil-
die Lampe

n einen in-
Centimetern

AC… (conver). (Tafel 12, Figur 7).

	Radius in Millimetern	…s Mit… …s über … A ge… …orizon… … Milli… …rn.	Neigung der Radien gegen einander. Gr.	Min.	Sec.	Neigung des äußeren Radius. Gr.	Min.	Sec.	Entfernung des Punctes C von dem Focus F in Millimetern. Taf. 12 Fig. 6.	Nr. der Zonen.
Obere Zonen.	4000,0…	…,07	1	19	24	15	58	47	1054,34	1
		…,40	1	17	34	14	48	41	1069,02	2
		…,77	1	16	16	13	39	01	1087,52	3
		…,95	1	15	26	12	30	46	1109,85	4
		…,04	1	15	04	11	23	47	1136,14	5
		…,14	1	15	08	10	17	59	1166,57	6
		…,30	1	15	36	9	13	16	1201,46	7
		…,59	1	16	32	8	09	30	1241,16	8
		…,03	1	17	56	7	06	33	1286,15	9
		…,66	1	19	48	6	04	19	1336,99	10
		…,00	1	19	56	5	03	46	1394,36	11
		…,32	1	19	56	4	05	38	1457,22	12
		…,10	1	19	56	3	10	00	1525,43	13
Untere Zonen	4000,…	…,91	1	19	04	15	42	08	—	1
		…,51	1	19	04	14	27	22	—	2
		…,93	1	19	04	13	14	29	—	3
		…,20	1	19	04	12	04	07	—	4
		…,38	1	19	04	10	57	02	—	5
		…,56	1	19	04	9	53	43	—	6

§. 88. Beleuchtungssysteme für kleinere Leuchtthürme.

Die Hafenfeuer von Fresnel werden durch eine kleine vollkommen cylindrische Linse, aus drei Zonen bestehend, und aus oberen und unteren dioptrischen Prismenringen gebildet. — Die fünf mittleren Ringe haben einen Durchmesser von 3 Decimetern (0,95 F). Die nach oben entweichenden Strahlen werden durch fünf, die nach unten entweichenden durch drei Prismenringe aufgefangen und gebeugt. Es zeichnet sich dieser Apparat durch eine Anordnung aus, welche von Fresnel auch für größere feste Feuer benutzt wurde. Es sind außen verticale Reflectoren angebracht, welche, um die Hauptaxe gedreht, die horizontal nach allen Seiten hinausgeworfenen Lichtstrahlen zu parallelen Strahlenbündeln beugen. Es ist klar, daß durch die Umdrehung dieser Refractoren einem entfernten Beobachter helle Blicke sich zeigen, welchen jedoch eine kurze Verdunkelung vorhergeht und nachfolgt, da die Verstärkung der hinausgeworfenen Strahlen nur auf Kosten der angrenzenden geschehen kann.

Die Eintheilung der dioptrischen Feuer in vier Classen und die Unterscheidung derselben ist von Frankreich ausgegangen.

1) Leuchtthürme erster Classe haben 92 Centimeter (2 F. 9 Z.) innern Radius oder Focaldistanz und werden durch Lampen mit 4 concentrischen Dochten erleuchtet.

Man unterscheidet

a) Drehfeuer mit 8 Linsen von gleicher Größe, welche ein verticales, regelmäßiges, hohles Prisma bilden; im Mittelpunkt desselben ist die Lampe angestellt.

b) Drehfeuer mit 16 Halblinsen.

2) Die Leuchtthürme zweiter Classe haben einen innern Radius oder eine Focaldistanz von 70 Centimetern

(2 F. 2 Z.) und werden durch Lampen mit 3 concentrischen Dochten erleuchtet. Man hat 16 oder 12 Halblinsen angewendet.

3) Die Leuchtthürme dritter Classe, durch Lampen mit zwei concentrischen Dochten erleuchtet, haben einen inneren Radius oder eine Focaldistanz von 25 Centimetern (9 Z.), oder 50 Centimetern (1,6 F.).

4) Die Feuer vierter Classe, oder Hafenfeuer, haben 15 Centimeter (0,48 F.) inneren Radius oder Focaldistanz und werden durch eine Argand'sche Flamme hergestellt.

Die fünfte Classe sollen Apparate von 185 Millimetern (0,59 F.) inneren Radius und

die sechste endlich die gewöhnlichen Hafenfeuer von 15 Centimetern inneren Radius bilden.

Fünftes Kapitel.

Optische Einrichtungen, die aus Linsengläsern bestehen.

---

§. 89. Die Brenngläser.

Es ist schon früher besprochen worden, daß Sammelgläser in der Entfernung des Brennpunktes ein Bild der Sonne erzeugen, in welchem die Strahlen ungemein verdichtet sind und somit eine große Hitze erregen. Damit man wirksame Brenngläser erhalte, hat man ihnen eine große Oberfläche zu geben, und man wählt deshalb große gleichseitige Convexlinsen. Ist nun die Brennweite der Linse = p und ihr Oeffnungsdurchmesser z, so wird das Licht $11664 \frac{z^2}{p^2}$ mal verdichtet, wie wir es früher beim Brennspiegel gesehen haben. —

Will man die Wirkung einer Brennlinse aber noch vergrößern, so stellt man zwischen sie und den Brennpunkt noch ein Sammelglas von kürzerer Brennweite, ein Collectivglas, das so groß sein muß, daß es den

von der großen Linse ausgehenden Strahlenkegel faßt. In diesem Falle ist die Verdichtung des Sonnenlichtes:

$$11664 \cdot \frac{z^2}{p^2} \cdot \left(\frac{p + p' - d}{p'}\right)^2,$$

wo p' die Brennweite der Collectivlinse und d ihren Abstand vom Hauptglase bezeichnet. Durch die zweite Linse wird also der Durchmesser des Sonnenbildes verkleinert und somit die Dichtigkeit des Lichtes vergrößert. —

§. 90. Die Camera obscura.

Dieses schon in früher Zeit gekannte Instrument beruht, wie bekannt, auf dem Umschwung eines Gegenstandes durch eine Linse, die das Object auf einen in einem dunkeln Kasten geneigten Spiegel wirft, der die Strahlen nun seinerseits nach oben reflectirt, so daß eine oben im Kasten liegende mattgeschliffene Glastafel das betreffende Object liegend zeigt (Taf. II, Fig. 14). Hauptsächlich wird es dem Practiker auf die beste Form der Linse ankommen. Wie wir bald sehen werden, hat Petzval in Wien allen Formen durch sein von ihm construirtes Objectiv den Rang streitig gemacht und die frühern Linsen, die bis 5 Fuß Brennweite und 3 Zoll Oeffnung hatten, oder der Meniskus, dessen concave Seite dem Object zugesetzt werden sollte, sind eben so wie die Linsen, von denen der Halbmesser der convexen Krümmung $\frac{3}{16}$ und der der hohlen $\frac{3}{10}$ von der verlangten Brennweite haben sollte, verschwunden. Da man die neue Camera obscura namentlich zu Photographien anwendet, so wollen wir in Kürze das Verfahren, Lichtbilder zu erzeugen, so weit es hier seinem Zwecke entspricht, angeben.

§. 91. Darstellung der Lichtbilder.

Chlorsilber, das wir als weißen käsigen Niederschlag erhalten, wenn wir eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd mittelst Kochsalz fällen, hat ebenso wie das Jod- und Bromsilber die Eigenschaft, am Lichte unter Zersezzung geschwärzt zu werden. Scheele beobachtete, daß verschiedenfarbiges Licht von gleicher Intensität sehr ungleich das Chlorsilber schwärze und daß die violetten Strahlen am kräftigsten, die rothen und gelben am schwächsten einwirken. Wedgewood kam schon auf den Gedanken, diese Schwärzung des Chlorsilbers zu benutzen, um die Bilder der Camera obscura zu fixiren; Davy stellte mit Hülfe des Sonnenmikroskops Bilder kleiner Gegenstände auf Chlorsilberpapier dar, die aber, wegen der dauernden Einwirkung des Lichtes auf das Chlorsilber, bald wieder verschwanden. Niepce de St. Victor bildete die Kunst, Lichtbilder zu fixiren, weiter aus, bis es endlich Daguerre nach vielen Versuchen gelang, die nach ihm benannten Daguerre'schen Lichtbilder oder Daguerreotype zu erzeugen. Der Proceß der Erzeugung dieser Lichtbilder ist in der Kürze folgender: Eine versilberte Kupferplatte wird Dämpfen von Jod ausgesetzt, dadurch bildet sich auf der Oberfläche der Platte eine dünne Schicht von Jodsilber. Bringt man die Platte in die Camera obscura, so entsteht auf derselben nach kurzer Zeit ein noch unsichtbares Bild, indem durch das Licht das Jodsilber auf den beleuchteten Stellen reducirt wird. Das Bild tritt zum Vorschein, wenn man die Platte Quecksilberdämpfen aussetzt. Das Quecksilber reducirt das Silber in Pulverform aus denjenigen Stellen des Jodsilbers, welche stark vom Licht getroffen wurden, und es bildet dieses Silberpulver einen weißen Staub, der solche Stellen des Bildes hell erscheinen läßt. Die von dem Lichte nicht getroffenen Stellen des Jodsilbers werden von den Quecksilberdämpfen nicht reducirt. Wenn das Bild hinlänglich ausge-

prägt ist, wird das unzersetzte Jodsilber durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron entfernt. Einige Physiker sind der Ansicht, daß das Bild durch ein Silberamalgam hervorgebracht werde.

Das Verfahren bei der Daguerreotype besteht in sechs Operationen, nämlich:

1) in dem Poliren der Platte,
2) der Jodirung (der Darstellung der empfindlichen Schicht),
3) dem Einbringen der Platte in die Camera obscura,
4) der Fixirung der Bilder,
5) der Entfernung des Jodüberzugs und
6) in der Vergoldung und Trocknung des Bildes auf der Platte.

Das Material der Platte ist mit Silber plattirtes Kupfer. Das Polirmittel ist höchst fein gepulverter Bimsstein, Tripel oder noch besser englisches Roth (fein geriebenes Eisenoxyd), das vermittelst eines Beutels auf die Platte gestreut und vermittelst Baumwolle, die mit etwas Olivenöl angefeuchtet worden ist, umhergerieben wird. Nachdem die Platte mit trockner Baumwolle gereinigt worden ist, wird sie zur Entfernung des Oelüberzuges mit einigen Tropfen sehr verdünnter Salpetersäure und darauf abermals mit trockner Baumwolle angerieben. Dann erwärmt man die Platte auf der Rückseite über einem Kohlenfeuer, läßt sie erkalten und reibt sie von Neuem mit Baumwolle ab.

Die Jodirung der Platte geht in einem viereckigen Kasten vor sich, in welchem sich ein nach unten sich verjüngender Einsatz befindet, auf dessen Boden Jod in einer Schale steht. Die Schale ist mit einem Gazedeckel bedeckt, damit sich die Joddämpfe gleichmäßig ausbreiten. An dem oberen Ende des Einsatzes wird die auf einem Bretchen befestigte Platte so eingelegt, daß die plattirte Fläche nach unten gekehrt ist.

Man läßt die Joddämpfe so lange einwirken, bis die Platte einen goldgelben Anflug angenommen hat.

Hat man die Zeit der Einwirkung überschritten, was man daran erkennt, daß die Färbung der Platte violett geworden ist, so ist die Oberfläche gegen das Licht unempfindlich; die Platte muß in diesem Falle von Neuem polirt werden. Anstatt des Jodes wendet man auch Chlorjod und Bromjod in Wasser aufgelöst, oder vorläufige Jodirung und nachheriges Aussetzen der jodirten Platten den Dämsfen von bromhaltigem Wasser an. Häufig benutzt man jetzt auch Jod und darauf Bromkalk (unterbromigsaurer Kalk, CaO, BrO).

Die Camera obscura hat folgende Einrichtung: Der das achromatisch zusammengesetzte Objectiv (Taf. II, Figur 14) enthaltende Einsatz, den wir gleich noch ausführlicher besprechen wollen, ist vorn mit einer Blendung versehen, die beliebig geöffnet und verschlossen werden kann. Damit man die Platte in die gehörige Entfernung von der Linse bringen kann, besteht der Kasten der Camera obscura aus zwei in einander verschiebbaren Theilen; der hintere Theil ist so eingerichtet, daß der Rahmen, der zur Aufnahme des Brettes mit der Platte dient, in die Oeffnung paßt. Vor dem Versuche wird ein Rahmen mit einer mattgeschliffenen Glastafel eingesetzt; darauf wird der hintere Theil so lange verschoben, bis das Bild auf der Glastafel die größte Schärfe zeigt. In dem Rahmen befindet sich ein Spiegel, um das Bild bequemer betrachten zu können. Nach beendigtem Vorversuche wird die Thüre des Rahmens, in dem sich die Metallplatte befindet, geöffnet. Die Dauer der Einwirkung ist von der Intensität der Beleuchtung abhängig; sie kann nur durch die Erfahrung bestimmt werden.

Die Fixirung des Bildes geschieht durch Quecksilberdämpfe, welchen man die jodirte und impressionirte Platte aussetzt. Es geschieht diese Operation in einem viereckigen Kasten, auf dessen Boden sich ein eisernes Gefäß mit Quecksilber befindet. Letzteres wird durch eine untergestellte Spirituslampe auf 70 — 80° erhitzt. Durch ein Fensterchen, das in dem Kasten angebracht ist, über-

zeugt man sich von dem Gelingen des Versuches. Unmittelbar nach dem Fixiren erscheint die jodirte Platte nicht verändert und es ist noch kein Bild darauf wahrzunehmen.

Nachdem die Platte aus dem Rahmen entfernt worden ist, wird sie zur Entfernung des noch anderen, für das Licht empfindlichen Jodüberzuges mit reinem Wasser und darauf mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron gewaschen. Zu diesem Behufe bringt man die Platte in eine mit dieser Lösung angefüllte Schüssel, welche man, um die Lösung zu erleichtern, ein wenig schwenkt. Eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron ist im Handel unter dem Namen Antichlor zu haben; außerdem stellt man sie leicht dar, indem man 10 Theile trockenes kohlensaures Natron mit 3 Theilen Schwefelblumen mengt, das Gemenge bis zum Schmelzpunkte des Schwefels erhitzt und fortwährend umrührt; das anfänglich entstandene Schwefelnatrium geht dadurch in schwefligsaures Natron über. Die Masse wird mit siedendem Wasser ausgezogen, die Lösung filtrirt und mit überschüssigem Schwefel gekocht, wodurch das schwefligsaure Salz in unterschwefligsaures übergeht. Wenn die gelbe Farbe der Platte verschwunden ist, spült man letztere in einer Schale mit reinem Wasser ab und läßt dasselbe ablaufen.

Um endlich die Platte zu vergolden, löst man 1 Th. Goldchlorid in 500 Th. Wasser und mischt diese Lösung mit einer anderen Lösung von 3 Theilen unterschwefligsaurem Natron in 500 Theilen Wasser. Von dieser Lösung tropft man vorsichtig so viel auf die Platte, als sich darauf ohne abzufließen erhalten kann, und erhitzt sodann die Platte, ohne daß jedoch die Flüssigkeit darauf in's Sieden geräth. Man spült mit destillirtem Wasser ab und trocknet die Platte. Die tiefsten Schatten des Bildes entsprechen den Stellen, wo keine Einwirkung des Lichtes stattfand, wo demnach nach der Operation wieder reines cohärentes Silber vorhanden

ist; die hellsten Punkte werden durch Silberpulver oder durch Quecksilberamalgam hervorgebracht.

Photographie. Bei der Darstellung der Lichtbilder auf Papier heben wir von den verschiedenen bekannt gewordenen Verfahrungsweisen eine heraus, die sowohl bezüglich der durch sie erzielbaren Resultate, als auch bezüglich der Einfachheit und Leichtigkeit der Ausführung empfohlen zu werden verdient.

Das Verfahren bei der Darstellung der Photographien zerfällt in folgende Operationen:

1) in die chemische Präparirung des Papiers,
2) in das Einbringen des Papiers in die Camera obscura,
3) in das Hervorrufen des negativen Bildes,
4) in das Fixiren dieses Bildes,
5) in das Hervorrufen des positiven Bildes,
6) in die Fixirung des positiven Bildes.

Man wählt ein Papier von möglichst gleichkernigem Korne, das kein Stärkemehl als Leim enthalten darf (zu photographischem Gebrauche bestimmtes Papier bildet bereits einen eigenen Handelsartikel) und legt es, nachdem man ihm die der Camera obscura entsprechende Größe und Form gegeben hat, mit der glatten Seite (der Filzseite) auf die Oberfläche einer Flüssigkeit, welche aus einer Auflösung von reinem Jodkalium in seinem 15fachen Gewicht destillirten Wassers besteht, und läßt es darauf 1 — 1½ Minute lang schwimmen. Darauf nimmt man das Papier von der Flüssigkeit hinweg, trocknet es zwischen feinem Fließpapier und bringt es dann mit der innern noch feuchten Seite auf die Oberfläche einer Lösung von geschmolzenem salpetersaurem Silberoxyd (Höllenstein) in der 10fachen Gewichtsmenge destillirten Wassers, welche mit ½ — 1 Theil Essigsäure versetzt worden ist, und läßt es darauf 1 — 1½ Minute lang schwimmen. Durch diese Operation überzieht sich das Papier gleichmäßig mit einer Schicht von kanariengelbem Jodsilber. Es ist kaum nothwendig zu bemerken, daß das Präpariren des Papieres bei Kerzenlicht vorgenommen wird.

Das so präparirte Papier zeigt sich im nassen Zustande zur Aufnahme des Bildes in der Camera obscura am geeignetsten. Man bringt es mit der nassen Seite auf eine vollkommen reine Glästafel und schiebt letztere mit dem adhärirenden Papierblatt in die Camera obscura, ebenso wie es bei der Daguerreotypie angegeben worden ist. Die Expositionsdauer richtet sich nach der Stärke des zerstreuten Tageslichtes und beträgt 10 Sekunden bis 1 Minute. Sobald die genügende Lichteinwirkung stattgefunden hat, wird das Objectiv rasch bedeckt, der Schieber des Rahmens geschlossen und das darin befindliche Bild in ein dunkles Zimmer getragen.

Auf dem präparirten Papiere befindet sich bereits das unsichtbare negative Bild. Man hebt das Papier von der Glastafel ab, legt es auf eine andere horizontale Glastafel, auf welcher eine gesättigte Lösung von reiner Gallussäure ausgebreitet ist, und läßt es so lange liegen, bis das Bild in allen seinen Theilen kräftig hervorgetreten erscheint. Die hellen Partien des Gegenstandes (wie z. B. die Wäsche bei Portraits) erscheinen schwarz, und die Schattenpartien hell. Die Anwendung der Gallussäure beruht auf ihrer Eigenschaft, durch das Licht verändertes Jodsilber zu reduciren, auf das nicht veränderte aber nicht einzuwirken.

Das aus der Gallussäure genommene und mit Wasser abgespülte Bild wird mit einer Auflösung von unterschwefeligsaurem Natron in 10 Theilen destillirten Wassers übergossen und in diesem Bade so lange gelassen, bis das Bild, in Folge der Auflösung des unzersetzten Jodsilbers, in seinen hellen Partien nicht mehr gelb, sondern weiß erscheint. Hierauf nimmt man das Papier aus dem Bade heraus, trocknet es oberflächlich zwischen zwei Blättern Fließpapier, wäscht es mit Wasser aus und läßt es dann auf Fließpapier an der Luft vollständig trocknen.

Um nun mit Hülfe des auf die beschriebene Weise dargestellten negativen Bildes ein positives, d. h. ein solches zu erhalten, das die Lichter und Schatten an der

nämlichen Stelle hat, wie der abgebildete Gegenstand, muß das negative Bild durchsichtig gemacht werden. Dies wird ausgeführt, indem man das völlig getrocknete Bild mit dünn geschabtem weißen Wachs oder Wallrath überstreut, zwischen Briefpapier legt, und sodann das Papier mit einem nicht zu heißen Plätteisen übergeht. Indem das Wachs oder der Wallrath schmilzt, wird das Papier durchscheinend. Als Papier zu den positiven Copien wählt man ein starkes, gleichförmig gut geglättetes Velinpapier ohne Wasserzeichen aus. Die chemische Präparirung dieses Papieres geschieht, indem man das Papierblatt zuerst auf eine Auflösung von Kochsalz in 12 Th. Wasser bringt, darauf 1½ Minute schwimmen läßt, zwischen Fließpapier oberflächlich abtrocknet, es dann ungefähr 2 Minuten lang auf einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd in 8 Th. Wasser schwimmen läßt, nachher in gleicher Weise wie vorher zwischen Fließpapier trocknet, ferner beide Operationen (das Schwimmenlassen auf beiden Flüssigkeiten nebst dem jedesmal folgenden Abtrocknen) in der nämlichen Ordnung wiederholt und endlich mit sorgfältiger Trocknung durch häufiges Ueberstreichen und Andrücken aufgelegten frischen Fließpapiers schließt. Das durchscheinend negative Bild wird nun mit seiner Rückseite auf eine geschliffene Glasplatte gelegt, auf die Bildseite aber legt man die mit Chlorsilber überzogene des positiven Papiers, bedeckt dessen Rückseite wieder mit einer Glasplatte und läßt auf den Apparat eine gehörige Zeit lang das Tageslicht (½ — 1 Stunde lang) oder directes Sonnenlicht (5 — 15 Minuten lang) einfallen. Je intensiver das negative Bild, desto länger muß die Exposition dauern.

Nach hinreichender Einwirkung des Lichtes legt man die erzeugte positive Copie in eine Auflösung von unterschwefligsaurem Natron in 12 Th. Wasser, läßt es darin ½ — 1 Stunde, bis es nicht mehr an Intensität zunimmt, worauf es herausgenommen, zwischen Fließpapier getrocknet, mit destillirtem Wasser sorgfältig aus-

gewaschen und endlich vollkommen getrocknet wird. Durch Nachhülfe mit dem Tuschpinsel (das Retouschiren) läßt sich auf solchen Photographien ein außerordentlicher Effect hervorbringen.

Da das Papier durch die Structur seiner Masse den gleichmäßigen Durchgang des Lichtes verhindert, so hat man in neuerer Zeit das negative Papier durch andere Stoffe zu ersetzen versucht. Man wählt zu diesem Zwecke eine geschliffene Glastafel (Solintafel) und überzieht dieselbe mit einer festen, durchsichtigen, möglichst gleichförmigen Schicht von Eiweiß, Dextrin, thierischem Leim, Collodium, und behandelt dann der Hauptsache nach diese Schicht mit den nämlichen Substanzen, wie bei dem vorhergehenden Verfahren das Papier und verfährt dann auch weiter in gleicher Weise. Die nach diesem Verfahren erhaltenen Bilder nennt man Niepçotypien.

Photographien, die unter Anwendung von bernsteinsaurem, benzoesaurem oder arsensaurem Silberoxyd und Eisenvitriol als Mittel zum Hervorrufen dargestellt worden sind, nennt man Energiatypien oder Ferrotypien. Chromotypien sind Bilder, bei welchen das Papier mit einer Lösung von Kupfervitriol und zweifach chromsaurem Kali präparirt worden ist. Lösung von citronsaurem Eisenoxydammoniak, Blutlaugensalz u. s. w. sind endlich zur Hervorbringung von Bildern angewendet worden, die man mit dem Namen Chrysotypien, Cyanotypien und Katalysotypien bezeichnet hat.

Bekanntlich sind die Fortschritte auf dem Gebiete der Photographie im Allgemeinen sehr bedeutend zu nennen, und Chemiker und Physiker wetteifern mit einander, um den Preis zu erringen. Während die Chemiker bemüht sind, auf eine leichte Weise positive und negative Bilder hervorzurufen und ihr Streben schon so weit gekrönt ist, daß sie direct positive Bilder erlangen, suchen sie nun noch die Photographie mit der Lithographie zu vereinigen und das Bild so zu erzeugen, daß es sofort zur Vervielfältigung geeignet ist. Auf der andern Seite sehen die Physiker nicht müßig zu, sondern sind bemüht durch

ein rüstiges Fortschreiten im Schleifen und Zusammensetzen der Linsen ein klares Bild zu erzeugen. Nur Schade, daß sie nicht immer als Physiker und Künstler vereint wirken, sondern durch Fehden, wie Voigtländer gegen Petzval, einander mehr schaden als nützen müssen, wiewohl Jeder beiden für ihre Bemühungen dankbar sein muß. —

§. 92. Petzval's Objectiv-Linsen zur Camera obscura.

Mit den Objectiven für die jetzt, namentlich zur Photographie, häufig angewendete Camera obscura hat sich in der neuesten Zeit namentlich Petzval in Wien vielfach beschäftigt. Wir folgen seinem Ideengange, durch den er zur Construction eines guten Objectives gelangte. Man denke sich durch den Mittelpunkt einer Oeffnung am Fensterladen senkrecht auf die Ebene desselben eine Linie gezogen, trage von diesem Mittelpunkte aus gegen den Schirm zu eine Strecke gleich dem Durchmesser der Oeffnung auf und im Endpunkte derselben eine darauf senkrechte, auf der man nach oben und nach unten die Wellenlänge aufträgt, die für rothes Licht $\frac{1}{50{,}000}$ eines Zolles, für violettes $\frac{1}{100{,}000}$ und für die andern Lichtarten die Mittelwerthe beträgt; nun ziehe man durch den Mittelpunkt der Oeffnung zwei gerade Linien durch die zwei Endpunkte dieser senkrechten, so werden diese, bis zu dem Schirme fortgesetzt, auf demselben die zwei Endpunkte des in Rede stehenden Durchmessers markiren, und die sie verbindende Linie wird der Durchmesser selbst sein. —

Heißt die Wellenlänge λ und der Halbmesser der Oeffnung ϱ, die Durchmesser des Abweichungskreises D, die Entfernung des Schirmes aber A, so wäre

$$D = \frac{A\ \lambda}{\varrho} \quad \ldots . \ (1)$$

Dieses gilt natürlich, so lange ϱ sehr klein, ist indeß die Oeffnung eine größere, so wäre

$$D = 2\,\varrho + \frac{A\ \lambda}{\varrho}.$$

Hieraus findet man für ϱ den Werth, dem das kleinste D, somit das schärfste Bild entspricht.

$$\varrho = \sqrt{\tfrac{1}{2}\,A\,\lambda}\ \ldots\ (2)$$

und

$$D = 2\sqrt{2\,A\,\lambda}$$

Ist also $A = 11$ Zoll, so ergiebt sich für rothes Licht, d. h. für $\lambda = \frac{1}{50{,}000}$ Zoll, nahezu $D = 0{,}042$ Zoll und $\varrho = 0{,}01$ Zoll; für violettes Licht, also $\lambda = \frac{1}{100{,}000}$ Zoll, $D = 0{,}030$ und $\varrho = 0{,}007$ Zoll $= 0{,}07$ Linien. Man kann also sagen: es wird im Allgemeinen nichts mehr nützen, wenn man die Oeffnung unter $\frac{1}{10}$ Linie im Halbmesser und $\frac{1}{5}$ Linie im Durchmesser verkleinert, und es wird im günstigsten Falle das Bild eines leuchtenden Punktes ein kreisrunder Fleck sein von etwa $\frac{1}{2}$ Linie im Durchmesser. Es wird sich daher das Bild nur aus einer solchen Entfernung allenfalls gut ansehen lassen, aus welcher ein solch kreisrunder Fleck von $\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser noch als Punkt erscheint, d. h. aus einer Entfernung, aus welcher derselbe unter einem Gesichtswinkel von 1 Minute wahrgenommen wird, somit aus einer Entfernung von ungefähr 2 Klaftern. Somit kommt dem Bilde nur ein geringer Grad von Schärfe zu, und die Lichtstärke ist höchst unbedeutend. Um von beiden eine genauere numerische Kenntniß zu gewinnen, möge man erwägen, daß ein gewöhnliches Camera obscura-Objectiv von 3 Zoll Oeffnung und 11 Zoll Brennweite, bestimmt zum Portraitiren, wenn es nur annähernd gut ist, ein Bild liefere, welches mindestens in der Mitte des Gesichtsfeldes zehn-

malige Vergrößerung verträgt. Es ist also an Schärfe der Camera obscura ohne Glas beiläufig 180mal überlegen. Bessere Instrumente sind es natürlich noch in weit höherem Grade. In Bezug auf die Lichtstärke beachte man, daß bei gleicher Brennweite, nämlich von 11 Zoll, also derselben Bildgröße, d. h. derselben Größe der Abbildung eines bestimmten Gegenstandes die Oeffnungen, die einerseits $\frac{1}{5}$ Linie, anderseits 36 Linien betragen, in dem Verhältnisse wie 1 : 180 sind; die Lichtstärken verhalten sich aber wie die Quadrate der Oeffnungen, stehen somit im Verhältnisse wie 1 : 32400.—

Setzt man nun in die Oeffnung eine einfache Linse aus Crownglas mit 11 Zoll Brennweite etwa und untersucht, welche Veränderungen vor sich gehen werden. Es fragt sich zunächst, wo man den Schirm, der das Bild auffangen soll, hinstellen wird. Man wird ihn im Allgemeinen in den Focus oder Brennpunkt stellen, aber auch nur im Allgemeinen, weil das Glas die verschiedenartigen Farben anders und anders bricht und somit die äußersten rothen, mittlern gelben und äußersten violetten Strahlen je ihren eigenen Focus haben. Da aber die Entfernung vom Linsenmittelpunkte p bis zum Schnittpunkte der Strahlen gegeben ist durch

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r^1}\right] \quad . \; . \; . \; (3)$$

wo r und r^1 die Krümmungshalbmesser der Vorder- und Hinterflächen, und n der Brechungsindex sind, so wird man, da sich die verschiedenfarbigen Strahlen durch die Brechungsindices unterscheiden, wenn man Brechungsindex und Brennweite für rothes Licht mit n und p bezeichnet, die für violettes Licht mit $n + dn$ und $p + dp$ bezeichnen können, d. h. also wenig vom Brechungsindex n unterschieden. Die Gleichung (3) kann man umformen in:

$$\frac{dp}{p^2} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r^1}\right) dn = \frac{dn}{(n-1)p},$$

$$\text{woraus } dp = \frac{p\,dn}{(n-1)}.$$

Da nun für Crownglas $\frac{dn}{n-1} = 0{,}036$, so ist

$$dp = -\,0{,}036\,p$$

und da $p = 11$ Zoll bei unserer Linse zu Grunde gelegt war, ist in unserm Falle

$$dp = -\,0{,}396,$$

d. h. die äußersten violetten Strahlen, die brechbareren, besitzen eine um beiläufig 0,4 Zoll kleinere Brennweite als die äußersten rothen. Die ersteren vereinigen sich in V (Taf. III, Fig. 6), die andern weiter entfernt von der Linse in R. Zwischen R und V liegen die Brennpunkte aller übrigen im Sonnenspectrum erscheinenden Strahlen. Diejenigen unter ihnen, welche vorzüglich auf das Sehorgan des Menschen einwirken, sei es durch ihre Menge oder Farbe, concentriren sich um einen Punkt O herum, der näher an R als an V liegt und deshalb kein absolut bestimmter ist, weil die Empfindlichkeit für verschiedenfarbiges Licht nicht für alle Augen dieselbe ist. Auf diesen Punkt O wird das Bild gewöhnlich eingestellt, jedoch von jedem Beobachter in der Regel auf eine andere etwas verschiedene Weise. Weiter in C befindet sich ein anderer Punkt näher an V als an h, in dessen Nähe diejenigen Strahlen zur Vereinigung kommen, denen vorzugsweise chemische Wirkung zukommt. Dieser Punkt hängt in Bezug auf seine Lage von dem Stoffe ab, auf den der Lichteindruck erfolgt, und hier kommt das beste photographische Bild zu Stande. Endlich ist zwischen V und R noch ein dritter Punkt P beinahe genau in der Mitte gelegen, wo der durch den Schirm abgeschnittene Strahlenkegel den geringsten Querschnitt hat. Nennt man den Querschnittsdurchmesser D, die halbe Oeffnung der Linse ϱ, die Brennweite p und dp die chromatische Längenabweichung R V, so ist

$$D = \frac{\varrho\, d\, p}{p} = 0{,}036\ p,$$

d. h. der Durchmesser des kleinsten chromatischen Abweichungskreises hängt allein von der Linsenöffnung nnd nicht von der Brennweite ab; ein für die Camera obscura wie für die Theorie der Fernröhre wichtiger Satz:

Zu der chromatischen Abweichung tritt nun noch die in (1) besprochene aus der Beugung des Lichtes entspringende Abweichung hinzu und vergrößert den Durchmesser des Abweichungskreises um $p\,\lambda$, so daß die Gesammtabweichung

$$D = 0{,}036\ \varrho + \frac{p\ \lambda}{\varrho}.$$

Sucht man nun den Werth der Linsenöffnung ϱ, für welchen D ein Kleinstes wird, so ist

$$\varrho = \sqrt{\frac{p\,\lambda}{0{,}036}} \quad \text{und} \quad D = 0{,}072 \sqrt{\frac{p\,\lambda}{0{,}036}}$$

also für rothes und violettes Licht wie folgt:

$$\varrho = 0{,}08 \qquad D = 0{,}006$$
$$\varrho = 0{,}06 \qquad D = 0{,}004.$$

Die zulässige Oeffnung, die das schärfste Bild giebt, kann also beiläufig gleich $1\frac{1}{2}$ Linien angenommen werden, erscheint mithin mehr als 7mal so groß, als bei der natürlichen Camera obscura ohne Glas, wodurch sich die Lichtstärke auf die 50fache erhöht, jedoch noch immer ein sehr geringer Bruchtheil, nämlich $\frac{1}{648}$ von derjenigen bleibt, die das gebräuchliche Camera obscura-Objectiv besitzt. Hiebei hat aber auch die Schärfe bedeutend zugenommen, denn der Durchmesser D des Abweichungskreises ist ein Mittel auf 0,005 Zoll oder auf 0,06 Linien herabgesunken, erscheint also 12mal kleiner als bei der Camera ohne Glas und liefert somit ein Bild, das von demjenigen der Camera mit Linse nur noch im Verhältniß von 1 : 15 an Schärfe übertroffen wird. —

Petzval hat nun darnach getrachtet, ein Objectiv zu construiren, das bei gehöriger Schärfe und Lichtstärke

vor Allem jene beiden Punkte gut wiedergiebt, in welchen das Bild photographisch am besten erzeugt wird, und in welchen es dem Auge am schärfsten erscheint, d. h. also einen guten chemischen und optischen Focus besitzt. Damit die chromatische Abweichung nach Gleichung (4) beachtet und die Krümmung des Bildes beseitigt, kurz damit ein möglichst vollkommen gutes Bild erhalten werde, muß ein sogenanntes Bild der fünften Ordnung geliefert werden, d. h. man hat fünf Glieder der sphärischen Abweichung, die beseitigt werden müssen, der Achromatismus wird durch zwei neue erfüllte Bedingungen zu Wege gebracht, und eine achte Bedingung fließt aus einer bestimmten dem Objective zu ertheilenden Brennweite. Es sind daher nicht mehr drei Linsenkrümmungen zureichend, sondern man braucht 8 verschiedene optische Elemente, d. h. Linsenflächen und Entfernungen, um diesen 8 Bedingungen zu genügen. Somit besteht das Objectiv Petzval's aus zwei achromatischen Linsen, von denen die erste 3 Zoll, die zweite aber nur 2 Zoll Oeffnung besitzt. Sie befindet sich in einem Abstande von etwas weniger als einem Zoll, gemessen von der hintersten Fläche der ersten bis zur vordersten Fläche der zweiten. Das Bild hat eine Größe wie von einer einzelnen achromatischen Linse von 26 Zoll Brennweite, und es ist dies Objectiv auf eine Bildgröße von 20 Zoll Durchmesser, wenn man es kreisrund wünscht, oder 20 Zoll in der Diagonale, wenn man es viereckig haben will, berechnet und ausgeglichen, bietet also ein Gesichtsfeld von 42 Grad mit ganz gleicher Lichtstärke bis an den Kreisrand, oder bis in die äußersten Ecken; und namentlich ist es die kleinere Oeffnung der zweiten Bestandlinse, durch welche dieser Vortheil der ganz gleichen Lichtstärke erzielt worden ist. Diesem Vortheile hat man freilich einen Theil der Lichtstärke zum Opfer gebracht. Die zweite Bestandlinse wirkt nämlich wie eine Blendung und nimmt nur noch dasjenige Licht auf, das von 28 Linien Oeffnung der 36 Linien haltenden ersten Linse ihr zugesendet wird. Diese 28

Linien Oeffnung gelten aber bis in die äußersten Ecken und es sind für verschiedene Punkte des Bildes auch andere und andere Stellen der ersten Objectivlinse wirksam. Da sich die Lichtstärken direct wie die Quadrate der Brennweite verhalten, so wäre an dieser Eigenschaft das zum Portraitiren bestimmte Objectiv dem neuen im Verhältniß wie 5 : 1 überlegen; diese Überlegenheit besteht indeß nicht, weil die volle Lichtstärke nur auf einen kleinen Fleck in der Mitte beschränkt ist, während sie gegen den Rand hin abnimmt. Es ist somit die wahre Lichtstärke in dem Verhältniß wie 3 : 1 vorhanden. Die Krümmung des Bildes ist eine sehr geringe, so daß ein vollkommen ebener Gegenstand, durch das Objectiv aufgenommen, einen Krümmungshalbmesser des Bildes von 80 Zoll im Scheitel liefert. — Die chromatische Längenabweichung bei einem Objective, das 26 Zoll Brennweite besitzt und aus den besprochenen Glassorten zusammengesetzt ist, beträgt nicht ganz eine halbe Linie, d. h. an dem einen Ende dieser kurzen Strecke vereinigen sich die Strahlen, die der Mitte des Spectrums angehörig sind, an dem andern Endpunkte hingegen die äußersten rothen und violetten; zwischen hinein fällt der chemische sowohl, wie auch der optische Brennpunkt, beide vereinigt für ein gesundes Auge, etwas getrennt für abnorme, namentlich durch Farben leicht gereizte Augen. Die Trennung beider beträgt etwa nur $\frac{1}{8}$ Linie. Fig. 1, Taf. XIII giebt uns ein Bild des Instruments, das auf einem dreiseitigen Prisma von 5 Fuß Länge verschiebbar ist, so daß nähere Gegenstände groß und auch in kleinen Dimensionen copirt werden können. Zum Einstellen dient eine Mikrometervorrichtung, die rückwärts angebracht ist, um bequem ein scharfes Bild zu erlangen. Der Kasten ist blasebalgähnlich eingerichtet und hat einen doppelten Rahmen an der hintern Seite. Er dient im Wesentlichen dazu, um die Fläche des innen aufgestellten matten Glases und auch diejenige, auf welche das Bild gemacht werden soll, also die präparirte

Platte, beliebig gegen die Axe des Instrumentes zu neigen. —

Dynactinometer von Claudet.

Wir erwähnen hier noch ein Instrument von Claudet, das dazu dient die photographische Kraft verschiedener Objectivlinsen mit einander zu vergleichen. Es besteht aus einer kreisförmigen, schwarz gefärbten Metallscheibe, welche sich um eine horizontale Axe dreht, die durch eine der ersteren parallel aufgestellte weiße Scheibe geht. Beide Scheiben haben Spalten in Richtung eines Halbmessers und sind etwa in Form einer Schraubenfläche gebogen, so daß bei der Drehung der Axe die schwarze Scheibe über die weiße greifen und einen immer größeren Sector derselben decken kann. Dieser Sector trägt zwei concentrische Kreise. An dem weiteren ist eine Eintheilung in 20 kleinere Sectoren mit fortlaufender Numerirung von 1 — 20, an dem engeren ist dagegen eine Theilung in 8 kleinere Sectoren angebracht, welche mit den Nummern 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, versehen sind. Wird die schwarze Scheibe durch ein Uhrwerk so gedreht, daß sie in gleichen Zeitabschnitten, etwa einer Sekunde, immer einen Sector mehr am weiteren Ringe der weißen Scheibe bedeckt, so wird der photographische Effect des letzten Segmentes 20mal größer sein, als der des ersten. Sind die Unterschiede bei dieser arithmetischen Reihe zu gering, so kann man die innere Reihe anwenden, indem man den ersten Sector immer bedeckt läßt, während der zweite 1 Sekunde, der dritte 2 Sekunden, der vierte 4 Sekunden lang u. s. w. Strahlen in die Camera obscura sendet. Um zwei Objectivgläser zu vergleichen, soll man zwei möglichst gleich präparirte Silberplatten oder photographische Papiere in den betreffenden Apparaten dem Dynactinometer unter gleichen Winkeln gegenüberstellen. Giebt in dem einen Apparat der vierte, in dem andern der achte Sector das

erste sichtbare Bild, so ist das Glas des ersten Apparates doppelt so wirksam, als das der zweiten. Von den Sectoren am innern Ringe würden im ersten Apparate der vierte, im zweiten der fünfte Sector sich zuerst deutlich abbilden. Da man der gleichen Empfindlichkeit der angewendeten Platten nicht gewiß sein kann, so wird man sie zuerst am Photographometer vergleichen; die Producte der am Photographometer und der am Dynactinometer erhaltenen Zahlen verhalten sich dann umgekehrt, wie die Wirksamkeit der verglichenen Objectivgläser.

Claudet giebt an, mit den genannten Apparaten selbst an verschiedenen Theilen des nämlichen Objectivglases eine ungleiche Wirksamkeit wahrgenommen zu haben. Auch soll das Verhältniß der Wirksamkeit zweier Objectivgläser ein veränderliches sein. Eine Trübung der Atmosphäre nämlich nehme jedesmal zuerst den brechbaren Theil des Spectrums und die dort befindlichen wirksamsten chemischen Strahlen weg, und lasse von den letzteren nur solche übrig, welche den mittleren Theil des Spectrums begleiten. Von der besonderen Art der Achromatisirung der Objectivgläser, ja selbst von einer schwachen, ihnen eigenthümlichen Färbung hänge es ab, ob dieselben mehr oder weniger von einer solchen Veränderung zu leiden hätten.

§. 93. Die Camera clara

besteht ebenfalls wie die Camera obscura aus zwei ineinander verschiebbaren Kasten, mit der Linse L (Taf. II, Fig. 14) und dem unter 45 Grad geneigten ebenen Spiegel s s, doch ist die Einrichtung so gemacht, daß das Bild nicht mit einer mattgeschliffenen Glastafel aufgefangen wird, sondern mitten in den Kasten etwa wie fg zu liegen kommt. Oben befindet sich statt der Glastafel ein Linsenglas A von einer mittelmäßigen Brennweite, etwa 8 Zoll, wenn die des Glases L 16 bis 30

Zoll beträgt, und die ganze Anordnung ist so, daß das Bild f g in den Brennpunkt der Linse A fällt. Ein Auge also, das über A sich befindet, empfängt die Lichtstrahlen parallel und muß daher den Gegenstand F G, von dem sie kommen, deutlich sehen.

Diese Einrichtung ist eigentlich, wie wir später sehen werden, nichts weiter, als ein astronomisches Fernrohr von nur schwacher Vergrößerung, wobei der Fortgang der Strahlen durch den Spiegel s s, welcher sie nach dem Glase A zu wirft, unterbrochen worden ist. Man sieht also nicht die Entwerfung des Bildes auf einer Fläche, wie bei den vorigen Einrichtungen, sondern das Bild f g selbst durch das Glas A hindurch, und es kann daher diese Vorrichtung auch nicht zum unmittelbaren Nachzeichnen der Bilder, sondern nur zu einer bessern Vergleichung der einzelnen Theile des Bildes ihrer Lage nach dienen. Es scheinen dem Beobachter die Gegenstände auf der Fläche des Glases A zu schweben, wenn sein Auge den richtigen Standpunkt getroffen hat, den man übrigens leicht durch Versuche finden kann. Jedenfalls muß das Auge weiter von dem Glase A abstehen, als dessen Brennweite. — Dieses Glas muß auch eine große Oeffnung haben, damit man recht viel Gegenstände auf einmal übersehen kann.

Die Camera clara hat vor den vorigen dunkeln Kammern den Vortheil, daß die Bilder sehr lebhaft erscheinen, selbst dann noch, wenn die Landschaft nicht von der Sonne beschienen wird, in welchem Falle die Camera obscura nur sehr dunkle Bilder liefert. Das Licht verliert hier beim Durchgange durch das Glas A nur wenig von seiner Stärke.

§. 94.

Wir führen, hieran anknüpfend, die Camera clara dioptrica, von Ernst von Leyser zuerst construirt, an, da sie nicht ganz ohne Vortheil auch zum Daguerrotypiren u. s. w. angewendet ist. —

Zur Herstellung des Instrumentes sind folgende Materialien erforderlich:

Vier Stück zweifache achromatische Objectivgläser, eine einfache Hülfslinse, ein großes Sammelglas und eine mattgeschliffene Glastafel.

Ich beginne mit der Beschreibung des vorderen Rohres, als dem wichtigsten Theile des Instrumentes. (Taf. XVII, Fig. 1) zeigt den Durchschnitt des in dem Instrumente vorn eingesetzten Rohres nebst den dazu gehörigen Gläsern in natürlicher Größe.

Das vordere Objectiv a und b, welches aus einem zweifachen achromatischen Objectivglas a und einem einfachen Linsenglas b (welches letztere zur Herstellung einer möglich kurzen Brennweite vor das achromatische gestellt ist) zusammengesetzt ist, besteht nothwendig aus diesen zwei Theilen, indem es sehr schwierig wäre, die geforderte Wirkung durch ein Glas zu erreichen, da die gesammte Brennweite der beiden Gläser noch nicht 5 sächsische Zoll erreichen darf, und die Rundung der Kugelfläche schon bedeutend auf ein Glas wirken würde. Beide Gläser a und b haben 18 Linien Oeffnung und 8 sächsische Zoll Brennweite, bilden aber in ihrer Zusammenstellung Eins von ungefähr 4½ sächsische Zoll Brennweite. Die converen Flächen sind nach außen dem abzubildenden Gegenstande zugekehrt. Diese zwei Gläser, auf deren Güte sehr viel ankommt, bilden den Inhalt des kleineren Rohres c, welches sich in dem größeren Rohre d hin- und herbewegen läßt.

Das größere Rohr d enthält erstens zwei einfache achromatische Objectivgläser e und f, deren jedes 8 Zoll Brennweite hat, die aber in ihrer Vereinigung ein Glas von ungefähr 4½ sächsische Zoll Brennweite bilden.

Diese zwei egalen Gläser müssen den größten Durchmesser vor allen übrigen im Rohre haben, weil sonst das Sehfeld in seiner Größe verringert würde. 24 Linien Oeffnung sind für diese beiden Gläser erforderlich. Sie sind mit ihren converen Flächen dem inneren Theil der Camera zugewendet.

Es folgt nun das letzte Glas im Rohre, ein achromatisches Objectivglas g, von 6 sächs. Zoll Brennweite und 20 Linien Oeffnung, welches seine convexe Crownglasfläche wieder nach vorn dem Gegenstande zukehrt. Es ist dieses fünfte und letzte Glas im Rohre, welches dem Bilde das große Sehfeld und die Schärfe verleiht. Ueber die Anordnung und Bedeutung des Beleuchtungsglases werde ich das Nöthige in dem nun folgenden mathematischen Beweis für die Richtigkeit der Construction und deren präcise Wirkung zeigen. (Tafel XVII, Fig. 2) gewährt die figürliche Darstellung hierzu.

Es sei der abzubildende Gegenstand ein Kreuz o, welches zunächst von dem doppelten Vorderglas a und b empfangen wird. Die beiden Strahlen p und q, welche von den Endpunkten des Kreuzes o durch das Objectiv a und b gehen, kreuzen sich hinter diesem Glase, und stellen daher in dem Brennpunkte c das Kreuz o in der Convergenz umgekehrt dar. Von dort empfangen die drei hintersten Gläser c, d und f das umgekehrte Bild o, und stellen es hinter sich bei g wieder aufrecht dar. Von diesem Punkte g aus durchlaufen die Strahlen g und h divergirend das Beleuchtungsglas i, welches Glas dem Bilde erst das wahrhaft zauberische Licht und die schönste Vollkommenheit giebt. Der Durchmesser dieses Beleuchtungsglases muß gleich sein der gewünschten Größe des Sehfeldes. Die Brennweite für dieses Glas kann auf 9 Zoll Oeffnung 14 Zoll betragen, obwohl hier die Differenz um einen Zoll nicht von großer Bedeutung ist, da es wesentlich nur zur Beleuchtung dient.

Jedoch ist dieses Glas das theuerste Stück am ganzen Instrumente, und ist bis jetzt in dieser Größe nur aus Paris zu erlangen gewesen. Wichtig ist, daß die Flächen dieses Glases nicht von gleicher Convexität sind, da die eine erhabenere Fläche dem Auge des Beschauers zugekehrt sein muß. Wird diese letzte Regel nicht genug

beobachtet, so entsteht sofort eine Strahlenverwirrung und das Bild erscheint wie verwischt.

Dieses in dem Apparat so bedeutungsvolle Beleuchtungsglas wirft das Bild auf die mattgeschliffene Glastafel k, welche 4 Zoll entfernt vom Beleuchtungsglase steht, und auf welcher sich nun das Bild in aller Farbenpracht dem Beschauer präsentirt. — Es ist in der Anordnung des Apparats mit Genauigkeit den hier gegebenen Regeln zu folgen; denn sobald nur eine einzige Fläche regelwidrig gewendet oder gar ein Glas weniger dazu verwendet wird, so ist das Bild vernichtet.

Die größte Schwierigkeit und die höchste Aufgabe bei dieser Erfindung bestand darin: Die Abweichung der Kugelflächen zu beseitigen und ein großes Sehfeld mit brillantem Licht zu schaffen. — Ich gehe nun zur Beschreibung der Außenseite der Camera über. Das Instrument erhält das gefälligste Ansehen durch eine achtkantige Birnenform. Da man diese Camera wie ein Fernrohr direct auf den Gegenstand richten kann, welches bei der practischen Anwendung einen großen Vortheil gewährt, so ist ein Stativ, welches die verticale und horizontale Bewegung zuläßt, sehr passend. Das ganze Gehäuse fertigt man der Leichtigkeit wegen von Holz, Pappe oder Blech.

(Taf. XVII, Fig. 3) stellt die Seitenansicht der Camera dar.

A. Das birnenförmige Gehäuse. — B. Das vordere Rohr, welches in das birnenförmige Gehäuse A gut eingepaßt sein muß, damit es sich bequem stellen lasse. — C. Eine Sonnenblende, über das Auszugsrohr zu stecken, um das falsche Seitenlicht abzuhalten. — D. Das Stativ von Holz mit verticaler und horizontaler Beweglichkeit. — E. Deutet den Ort des großen Sammel- oder Beleuchtungsglases an, welches 13 Zoll vom vorderen Zugrohr entfernt stehen muß. —

F. Giebt den Ort für die mattgeschliffene Glastafel an. — G. Ein Schirm, auf das birnenförmige Gehäuse zu stecken, zur Abhaltung des blendenden Seitenlichtes.—

H. Das Auge des Beschauers. — I. Eine in dem Gehäuse nöthige Thür, zur Einführung des Beleuchtungsglases und der matten Glastafel. — K. Ein Tisch, worauf das Instrument steht.

Noch eine nothwendige Bemerkung erlaube ich mir aus practischer Erfahrung mitzutheilen, und dem Verfertiger solcher Instrumente pflichtschuldigst als einen wichtigen Fingerzeig an die Hand zu geben. Man hüte sich nämlich sehr „grünes Crownglas“ zu den achromatischen Objectiven zu nehmen, man würde dadurch ein grüngefärbtes und sehr dunkles Bild erhalten. Wiederholt und auch noch in jüngster Zeit angestellte Versuche haben bewiesen, daß grüne Glasmasse zu dergleichen Apparaten durchaus untauglich ist. Man wähle daher ja recht lichte Glasmasse, und sehe vorzüglich auf große Härte und Tüchtigkeit der Masse zum Crownglas.

Nachdem nun auch die äußere und innere Construction der „Camera clara dioptrica“ ausführlich dargelegt worden, bleibt uns noch übrig, über die Anwendung des Instrumentes zu künstlerischen Zwecken einige practische Regeln aufzustellen.

Wenn man den Apparat zum Beschauen oder zum Nachzeichnen der Bilder der Natur benutzen will, so suche man vor allen Dingen die Maschine auf gut beleuchtete Gegenstände zu richten, und zwar nie gegen die Sonne, weil dann der Apparat nicht wirken kann. Ferner suche man sich mit dem Instrumente wo möglich in's Dunkel zu stellen, um das Licht von der matten Glastafel abzuhalten, weil, wenn Licht auf dieselbe fällt, das auf ihr erzeugte transparente Bild nicht gesehen werden kann. So aber die Localität es nicht anders erlauben sollte, ist man genöthigt einen Vorhang über sich zu hängen, da die Abhaltung des Lichts von der matten Glastafel eine unveräußerliche Bedingung bleibt. Diese Tafel ist durch ihren Schliff sehr gut geeignet, unmittelbar darauf zeichnen zu können, und man bringt mit dem Bleistifte die feinsten Striche hervor. Die auf der Glastafel entworfene Zeichnung

kann man mit leichter Mühe auf's Papier durchzeichnen und dann das Glas für einen neuen Umriß reinigen.

Da dieses Instrument den Vorzug besitzt, in einer und derselben Entfernung verschiedene Größen der Gegenstände hervorzubringen, so ist dies gewiß sehr vortheilhaft für den Zeichner, der nichts weiter zu thun hat, als das Rohr, welches in dem Gehäuse verschiebbar ist, je nach dem Bedürfniß heraus oder hinein zu bewegen. Zieht man das Rohr heraus, so vergrößern sich die Gegenstände; wird es nach einwärts geschoben, so werden sie kleiner. Jedoch ist dabei die Regel zu beobachten, daß man dann auch jedesmal das kleinere Rohr, welches in dem größern steckt, anders stellen muß, um die Deutlichkeit des Bildes wieder herzustellen. — Der Maler wird, wenn er auch das Instrument nicht zum Nachzeichnen benutzt, aus dem bloßen Anschauen der dargestellten Bilder für seine Studien großen Nutzen ziehen; er wird über viele Schwierigkeiten in der Darstellung der Bilder Aufschluß erhalten, indem die Natur concentrirt auf einer Fläche gemalt erscheint. Die tiefsten Geheimnisse der sinnigsten Farbenmischung in der Natur, sie erschließen sich hier dem Auge des Forschers. Jeder wird unwillkürlich von der Wahrheit und Treue ergriffen, mit der die belebten und unbelebten Gegenstände sich hier präsentiren, und ganz besonders schön nimmt sich hier in der Umrahmung ein lichtumflossener, zartweiblicher Kopf aus.

Um Portraits durch Vermittlung der Maschine zu zeichnen, muß man sich schon einige Uebung und Fertigkeit erworben haben, da wohl nur wenig Personen so ganz unbeweglich still sitzen können. An dem Instrument, dessen sich L. bediente, ist die Correction mit Zahn und Trieb gleich links neben der, auf einem Stock ruhenden Hand angebracht, so daß man den schärfsten Punkt der Darstellung auf das Genaueste suchen kann.

Um Personen mit sehr unruhiger Blutbewegung bei der Sitzung zum Portrait doch in möglichster Ruhe erhalten zu können, bedient man sich zweckmäßig eines

Stückes Rohr von Pappe, darin der Hinterkopf des zu Portraitirenden paßt, so daß sich derselbe in diesem Rohre fixirt fest an die Wand anlegt. — Professor „Martin“ in Wien bedient sich beim „Daguerreotypiren“ der genannten Vorkehrung.

Am Schlusse dieser Abhandlung sei es uns noch gewährt, frei von aller Animosität, eine vergleichende Parallele zwischen dem Daguerreotyp und diesem Instrument zu ziehen, wobei sich die Vorzüge, welche das letztere bei der practischen Anwendung zu künstlerischen Zwecken besitzt, von selbst herausstellen. Zuvörderst was den so wichtigen Zeitaufwand betrifft, so nehmen die chemischen Präparationen der Platten sehr viel Zeit in Anspruch, während mit diesem Instrumente der gewünschte Umriß von dem aufzunehmenden Gegenstande in wenigen Sekunden vollkommen fertig erlangt wird, indem es beim Daguerreotypiren nach der Sitzung immer noch problematisch bleibt, ob das Bild gelungen ist, so daß dann in der That oft mehrere Sitzungen nöthig werden, ehe daß ein treues Portrait gelingt. Dazu kommt zugleich, daß der Künstler sich erst eine besondere Fertigkeit in den chemischen Operationen erwerben muß, und überdies ohne Gehülfen wohl kaum arbeiten kann. Ferner gewährt dieses Instrument den großen Vortheil, den aufzunehmenden Gegenstand in den verschiedensten Größen, selbst bis zur Lebensgröße aufzunehmen, was bei dem Daguerreotyp absolut unerreichbar ist. Von dem so fruchtreichen Studium der Coloratur in der Natur, wie es die Bilder dieses Instruments gewähren, ist beim „Daguerreotyp“ schon gar nicht die Rede. Die Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen, der Güte der chemischen Reagentien beim Daguerreotypiren fällt bei diesem Instrumente ganz weg. Noch vieles könnten wir zur Hervorhebung des Instrumentes beibringen, unterlassen aber solches in der Hoffnung, daß dasselbe recht bald vielfachen Eingang in die Kunstwelt finden und in seinem Wirken die eindringlichste Fürsprache für sich selbst führen werde.

§. 95. Die Camera lucida.

Dieses Instrument besitzt zwar keine Linsengläser, durch welche, wie bei den vorigen Vorrichtungen Bilder hervorgebracht würden, indessen ist doch hier der geeignetste Ort, es zu beschreiben, da es in der Reihe der optischen Werkzeuge fast ganz isolirt dasteht. Die Einrichtung beruht der Hauptsache nach auf Folgendem: Wenn man eine durchsichtige Glastafel MN (Taf. XVIII, Fig. 1) gegen einen horizontalen Tisch TT unter einem Winkel von 45° neigt, so sieht ein Auge bei O den verticalen Gegenstand A B bei a b horizontal auf dem Tische liegen, indem die von AB kommenden Strahlen von der Vorderfläche der Glastafel zum Theil nach O zurückgeworfen werden. Wegen der Durchsichtigkeit der Tafel kann man aber auch einen bei a b hingehaltenen Bleistift zugleich mit erkennen und folglich, wenn ein weißes Papier untergelegt ist, auf diesem die Umrisse des Objects A B genau nachzeichnen. — Allein diese Vorrichtung ist mancherlei großen Mängeln unterworfen, denn einmal ist die umgekehrte Lage des Bildes ab der deutlichen Auffassung hinderlich und dann bringt auch jede Verrückung des Auges die Umrisse des Bildes auf eine andere Stelle des Papieres, wodurch das Nachzeichnen fast unmöglich gemacht wird. Auch ist bei durchsichtigen Flächen die Spiegelung nur unvollkommen und wegen der doppelten Bilder leicht auch undeutlich.

Allein diesen Mängeln hat Wollaston abgeholfen, indem er das Bild zweimal reflectirt werden ließ durch die Spiegel (Taf. XVIII, Fig. 2) M N und P Q, wobei, wie man aus der Zeichnung leicht sieht, der Punkt A in a und der Punkt B in b gesehen wird und daher das Bild aufrecht erscheint. Die beiden Spiegel sind von Metall und oben ist in einer Deckelplatte zum Durchsehen nur ein kleines Loch O offen gelassen, damit das Auge immer den richtigen Standpunkt behalte. Diese Deckelplatte kann verschoben werden, so lange, bis die

Pupille des Auges von der Kante Q des Spiegels P Q halbirt wird, damit sowohl reflectirtes Licht vom Spiegel P Q, als auch Licht von dem bei a b liegenden Papiere in's Auge dringen kann. Dadurch wird man, wenn man sich durch mehrere Uebung einige Fertigkeit erworben hat, gar leicht bei a b die Landschaft und die dorthingehaltene Bleifeder erblicken und die Umrisse mit großer Genauigkeit nachzeichnen können. — Die Neigung der beiden Spiegel gegen einander beträgt ohngefähr 135°.

Wollaston gebrauchte statt der Metallspiegel ein gläsernes Prisma von der Form (Taf. XVII, Fig. 4), bei welchem die Flächen b c und b a die Strahlen nicht durchlassen, sondern sie ohne Lichtverlust aufwärts nach dem Auge reflectiren, welches durch das in der Deckelplatte d d befindliche Löchelchen p so sieht, daß die Pupille durch die Kante a des Prismas halbirt wird. Das Ganze kann wegen der Nähe des Auges ungemein eng zusammengezogen werden, so daß ein Prisma, dessen spiegelnde Flächen etwa 3 Linien Breite haben, seinem Zwecke vollkommen genügt.

Wie weit man das Papier vom Prisma zu entfernen habe, ist zwar willkürlich, doch sollte diese Entfernung nicht über $1\frac{1}{2}$ Fuß und nicht unter $\frac{1}{2}$ Fuß betragen; die erstere Distanz wird durch die Länge des Armes bedingt, welcher der freien Bewegung halber nicht ganz ausgestreckt sein darf, wobei wegen der vorgeneigten Lage des Kopfes das Auge in die Höhe der Schulter zu stehen kommt; der letztere Abstand liefert dann, wenn die Objecte weit entfernt sind, allzukleine Bilder, bei welchen die Umrisse nicht mit der erforderlichen Schärfe nachgezeichnet werden können. Denn die Größe der Projection auf dem Papiere verhält sich zur wahren Größe des Gegenstandes wie der Abstand des Papieres vom Prisma zur Entfernung des Gegenstandes vom Prisma. Demnach ist z. B. das Bild dem Gegenstande gleich, wenn Papier und Gegenstand gleichweit vom Prisma abstehen; und wenn der Gegenstand doppelt

so weit entfernt ist, als das Papier, so ist sein Bild nur halb so groß u. s. w.

Die vollständige Abbildung des Instruments ist auf Taf. XVII, Fig. 5 zu sehen. Das Prisma P ist an einem Arm a angebracht, welcher in einer etwa 10 Zoll langen cylindrischen Röhre steckt, die ihm gleichsam als Verlängerung dient. Die Deckelplatte d ist durch eine Schraube beweglich und kann vermittelst eines hervorragenden Stiels leicht hin und her geschoben werden, um dem Sehloche in jedem Falle die gehörige Lage zu geben, damit nach Befinden mehr Licht bald vom Gegenstande, bald vom Papier ins Auge dringt. Als Fußstück dient ein messingener Klotz, in welchem die Röhre um einen Zapfen beweglich ist, um ihr in jedem Falle die erforderliche Neigung zu geben. Statt des Klotzes pflegte man auch eine messingerne Schraubenzwinge zu gebrauchen, mit welcher das Instrument an einen Tisch oder an ein Bret angeschraubt werden kann. — Kurzsichtige müssen vorn am Prisma ein für ihr Auge passendes Hohlglas anbringen, um die entfernten Gegenstände deutlich zu sehen; hier werden also die Strahlen, ehe sie in das Prisma eintreten, durch das Hohlglas in divergirende Richtungen gebrochen. Weitsichtige, welche die Spitze der Bleifeder und die Umrisse auf dem Papiere der Nähe wegen nicht würden erkennen können, bedienen sich eines geeigneten Converglases, welches unten am Prisma angebracht ist, damit sie durch dasselbe das Papier erblicken. Die Art, wie beide Gläser am Prisma angebracht sind, ist aus der Zeichnung ersichtlich.

Die Camera lucida ist ganz vorzüglich bei Entwerfung von Landschaften brauchbar und dient auch dem geschickten Künstler zu einer schnelleren Anordnung der einzelnen Theile seiner Zeichnung. Ganz besonders wichtig ist sie bei der Darstellung von architectonischen Gegenständen, indem sie alle Theile in ihrer gehörigen Verkürzung gerade so zeigt, wie es die Gesetze perspectivischer Zeichnungen erfordern. Wer mit dem Gebrauche des Instrumentes vertraut ist und sonst zeichnen kann, kann

sogar mittelst desselben menschliche Figuren nachzeichnen, Gemälde und Landkarten copiren u. s. w. Dabei hängt, wie schon bemerkt worden, die Größe der Copie von der Entfernung des Originals und des Papiers vom Prisma ab; man darf aber dabei nicht vergessen, daß man eben so wenig den Sehwinkel der Zeichnung zu sehr ausdehnen darf, als bei der perspectivischen Entwerfung eines Gegenstandes nach geometrischer Zeichnung, denn sonst würden die Bilder am Rande zu verzerrt ausfallen. Im Ganzen nehmen die Bilder, welche die Camera lucida liefert, den Raum eines Quartblatts ein, allein nur ein Viertheil dieses Raumes, der diejenigen Gegenstände abbildet, welchen das Instrument gerade gegenüber steht, bildet sie in gleicher Ausdehnung ab.

Beim Gebrauche hat man vorzüglich darauf zu sehen, daß man den Kopf hinreichend vorwärts neige, ganz senkrecht hinunter sehe und das Auge möglichst nahe auf das Prisma halte. Die Deckplatte d, welche der eigentliche Regulator der Maschine ist, muß für jeden einzelnen Gegenstand, seiner stärkeren oder schwächeren Beleuchtung gemäß, gehörig verschoben werden, und man wird durch Vortheile, die man durch Erfahrung gewinnt, leicht die Schwierigkeiten beseitigen lernen, welche man findet, um fortwährend das Bild und die Bleifeder deutlich zu sehen.

§. 96.

Die Camera lucida läßt sich auch bequem bei Mikroskopen und Fernröhren anbringen, um vergrößerte Gegenstände zu entwerfen, nur muß die Röhre der erstern eine horizontale Lage erhalten. Man kann das Prisma nur mit etwas Wachs an die äußere Blendung des Oculars kleben, oder es überhaupt so befestigen, daß es sich um seine Längenaxe drehen lasse und vor dem Ocular auf- und niedergeschoben werden könne. Bei Gegenständen, wo die aufrechte Stellung nicht wesentlich ist, kann

man auch bequem irgend eine schmale reflectirende Fläche gebrauchen, die unter einem Winkel von etwa 45° geneigt ist. Auf diese Weise verfertigte Sömmering seine mikroskopische Zeichnung von Theilen der menschlichen und thierischen Augen mittelst eines Stahlplättchens, welches die Deckplatte der Unruhe in einer Uhr gewesen war, und wurde bei dieser Gelegenheit der Erfinder des nach ihm benannten (Sömmering'schen) Spiegelchens, der kleiner ist als die Pupille und elliptische Form hat, um in ihm abgespiegelte Gegenstände und neben ihm vorbei zugleich ein Papier zu erblicken.

§. 97.

Der italienische Optiker Amici fand es beschwerlich, nach der Wollaston'schen Einrichtung das Bild und die Bleifeder zugleich zu sehen und kehrte zu der im Anfange des vorigen §. beschriebenen durchsichtigen Glasplatte zurück. Nach seinem ersten Vorschlage, den er mit Lüdike gemein hat, ist DC (Taf. XVII, Fig. 6) ein Metallspiegel und AB die durchsichtige Glasplatte, deren Vorderfläche die ihr vom Spiegel DC zugeworfenen Strahlen nach dem Auge reflectirt, das zugleich durch die Glasplatte das Papier erblickt. Lüdike machte, um die Unannehmlichkeit der doppelten Bilder zu vermeiden, die Glasplatte möglichst dünn, Amici gab ihr aber eine Dicke von 3 Linien und schliff die Stelle der Hinterfläche, an denen die schädlichen Reflexionen stattfanden, matt. Gesetzt, der Strahl mn werde nach o reflectirt, so wird ein Theil derselben in der Richtung op ins Auge gehen, während der andere nach p und von da nach r gebrochen wird, um in der Richtung rs ins Auge zu gelangen. Sind die Glasflächen genau parallel, so werden auch die Strahlen op und rs parallel gehen und es entsteht keine Undeutlichkeit; ist aber das Glas nur ein wenig prismatisch, so werden die Bilder doppelt; es ist daher rathsam, die hintere Fläche, die oberhalb q doch von keinem Nutzen ist, entweder matt zu machen

oder in der Richtung qr ganz wegzuschneiden. Um einen vollkommenen Parallelismus zu erhalten, giebt Amici den Rath, das Glas AB aus zwei flachen Prismen zusammenzusetzen, die dann gehörig gegen einander geneigt werden können.

Nach einer zweiten Einrichtung setzt Amici den Spiegel BD (Taf. XVII, Fig. 7) hinter die Glasplatte AB. Die Strahlen des Objects in m gehen daher durch die Glasplatte bis auf den Spiegel bei n, werden von da wieder bis auf die Glasplatte reflectirt und von da aus o in das Auge. Bei dieser Einrichtung erleiden zwar die Strahlen während des Durchgangs durch die Glasplatte einen Lichtverlust, allein dieser wird reichlich aufgewogen durch das große Gesichtsfeld, das mit dieser Construction verbunden ist. Auch kann man, da die Strahlen bei n nahe senkrecht auffallen, einen Glasspiegel gebrauchen, da unter dieser Bedingung keine doppelten Bilder wahrgenommen werden.

In Amici's dritter Einrichtung wird die Glastafel AB (Taf. XVII, Fig. 8) unter einem Winkel von 45° geneigt und die Umkehrung des Bildes durch ein vorgestelltes rechtwinkliges Prisma C bewirkt, dessen Hypothenusenfläche die Strahlen reflectirt. Hier räth Amici auch, statt der Glastafel einen kleinen Metallspiegel von elliptischer Form zu nehmen, der kleiner als die Pupille ist und an einem sehr dünnen Stiele befestigt sein muß.

Amici's vierte Einrichtung endlich unterscheidet sich von der ersten nur dadurch, daß der Metallspiegel durch ein Prisma ersetzt wird, dessen Hypothenusenfläche CD (Taf. XVII, Fig. 9) eben den Spiegel ausmacht. Bei dieser Einrichtung ist vor Allem darauf zu sehen, daß keine Strahlen vom Prisma selbst aus der Gegend von n' ins Auge gelangen, und diesem sucht Amici durch ein oben angebrachtes Blech zu begegnen, welches durch einen darin befindlichen Einschnitt dem Auge nur bis auf die nöthige Distanz hineinzublicken gestattet. Dieses Instrument ist, wie es in seiner Fassung sich ausnimmt, (Taf. XVII, Fig. 10) abgebildet, mit den Convex- und

Concavgläsern, die zur Unterstützung Weit- oder Kurzsichtiger dienen. Die Figur bedarf keiner weitern Erläuterung.

Es ist indessen bei allen diesen Einrichtungen Amici's dennoch nicht leicht, immer die Bleifeder gehörig im Auge zu halten, besonders wenn die Gegenstände, welche abgebildet werden sollen, im grellen Sonnenlichte strahlen. Man hat zwar vorgeschlagen, das zu grelle Licht durch zwischen gestellte gefärbte Gläser zu mildern, die auf gleiche Weise am Instrument angebracht sein könnten, wie die erwähnten Brillengläser, allein durch dieses Mittel gelingt es doch immer nur, einen bestimmten Grad der Schwächung hervorzubringen, und wenn dieser nicht ausreicht, so muß man sich auf mancherlei andere Weise helfen, z. B. die Erleuchtung des Papiers verstärken, oder auch dämpfen, wenn die Gegenstände matter erleuchtet sein sollten. Bei Wollaston's Einrichtung dagegen ist es gar leicht, den Regulator so zu stellen, daß jedesmal die rechte Lichtmenge, sowohl von den Gegenständen, als auch von dem Papier ins Auge kommt *).

---

*) In der Hauptsache stimmt mit dem Besprochenen das von Hagenow construirte, mit dem Namen Dicatopter belegte Instrument überein. Es unterscheidet sich von der Einrichtung Amici's dadurch, daß das Prisma durch einen Glasspiegel ersetzt ist, der über dem durchbohrten Spiegelchen sich befindet. — Das Spiegelchen wird unter einem Winkel von 65° vor dem Oculare eines Mikroskopes aufgestellt. Gegenüber demselben, gleich vor dem Ocularrohre, ist ein durchbohrtes kreisrundes Spiegelchen unter einem Winkel von 17° befestigt, und beide Spiegelchen sind gegen seitlich einfallendes Licht durch Wandungen geschützt. — Das Auge des Beobachters vor der Röhre empfängt nun die vom Prisma reflectirten Strahlen des Gesichtsfeldes und gleichzeitig auch die vom Papierblatte und vom Bleistift. Denn die von hier ausgehenden Strahlen werden zuerst durch den größern Spiegel reflectirt und erleiden dann auf dem kleinern durchbohrten Spiegelchen eine zweite Reflexion, so daß sie ins Auge treten.

Nachet hat folgendermaßen eine neue Camera construirt: Er nimmt ein prismatisches Stück Glas, das ursprünglich die Form

§. 98. Der optische Kasten mit schiefliegendem Spiegel (Guckkasten).

Dieser besteht aus einem Kasten von angemessener Größe, mit einem unter einem Winkel von 45° geneigten Planspiegel. Auf dem Boden desselben werden nach den Gesetzen der Perspective gut ausgeführte Ansichten, etwa von Landschaften, Gebäuden und dergleichen gelegt, welche im Spiegel aufrecht erscheinen, wenn man durch ein Loch in der Vorderseite des Kastens hineinsieht.

In dem Loche, durch welches das Bild betrachtet wird, befindet sich ein Sammelglas von etwas großer Oeffnung, dessen Brennweite gerade so groß sein muß, als der Abstand der im Spiegel sich darstellenden Scheinbilder vom Loche. Die Landschaften erscheinen dann vergrößert und ahmen die Natur getreuer nach, als das bloße Bild.

---

eines rechteckigen Parallelepipedums hatte, 10 Millimeter lang, 7,5 Millimeter breit und 12 Meter hoch, daran schleift er so zwei dreieckige, gleichschenklige Flächen, daß sie eine Seite gemeinschaftlich haben und selbst unter einem Winkel von 60° gegen einander geneigt sind. — Die Strahlen treten nun (Taf. **XXVII**, Fig. 7) durch die länglich vierseitige Fläche **edbf** ein, erreichen die dreiseitige Fläche **abc**, werden hier reflectirt und treten durch die dreiseitige Fläche **dac** wieder nach außen.

Bringt man nun diese Camera auf das Ocular eines vertical stehenden Mikroskopes, so versteht es sich von selbst, daß die Bilder auch auf eine verticale Fläche projicirt werden. Dieses ist aber unbequem, deshalb stellt man das Mikroskop horizontal, wenn es angeht, oder man benutzt ein rechtwinkliges gläsernes Prisma, wodurch das Strahlenbündel eine horizontale Richtung bekommt.

Aehnlich ist auch die von Robert gemachte Construction, bei der ein Rohr, das oben unter einem Winkel von 45° abgeschnitten ist und mit einer Glasplatte bedeckt ist, gerade über die Mitte des Oculars zu stehen kommt. Der Glasplatte gegenüber ist nur ein rechtwinkliges Glasprisma angebracht, das drehbar ist und die aus dem Ocular tretenden Strahlen auffängt und so gegen die Hypothenuse wirft, daß sie reflectirt nach unten austreten und auf ein Papier fallend das betreffende Bild liefern.

Die Zauberlaterne (Laterna magica).

Dieses Instrument besteht aus einem viereckigen Kasten ABCD (Taf. XVIII, Fig. 3) von weißem Blech, welcher oben bei R eine Abzugsvorrichtung für den Rauch der Lampe L und an der einen Seite eine Thür hat, um ihn nach Belieben öffnen und verschließen zu können. An der Hinterseite ist ein Hohlspiegel H angebracht und ihm gegenüber ein Sammelglas G von großer Oeffnung und nicht gar großer Brennweite, zwischen beiden aber brennt die Flamme einer Argand'schen Lampe L. Der Hohlspiegel L ist aus Blech geschlagen und wohl polirt. Die Lampe L wirft unmittelbar Strahlen auf das Sammelglas G, aber auch auf den Hohlspiegel L, von wo aus sie ebenfalls auf das Glas G gewiesen werden. Auf diese Weise geht Licht durch das Glas G, wodurch diese Vorrichtung geeignet wird, einen Gegenstand stark zu erleuchten. Der Kasten hat vorn bei O eine runde Oeffnung, ungefähr von der Größe des Glases G, und vor diesem Loche befindet sich der blecherne Steg aa, in welchem die Röhre MNPQ mit den zwei Sammelgläsern MQ und NP befindlich ist, durch welche die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch das Glas G ihren Weg ungehindert fortsetzen können.

Durch die enge Spalte e zwischen der Wand des Kastens und dem Stege aa werden Glasscheiben SS geschoben, auf welche mit durchsichtigen Farben allerlei Figuren gemalt sind, wobei diese Figuren verkehrt zu stehen kommen. Die beiden Gläser MQ und NP wirken nun wie ein einziges Sammelglas und entwerfen an der Wand TT ein vergrößertes Bild der auf den Glastafeln befindlichen Figuren, welches in natürlichen Farben erscheint, da die Farben des Gemäldes transparent sind. Am einfachsten wird die Sache, wenn man sich die Linse MQ weggenommen denkt; steht dann das Gemälde der Glastafel etwas weniges weiter von der Linse NP ab,

als deren Brennweite, so wissen wir, daß in der gehörigen Entfernung ein verkehrtes (jetzt also aufrechtes) Bild jenes Gemäldes entworfen wird. Die Zauberlaterne entwirft also Bilder naher Objecte, während die Camera obscura Bilder entfernter Objecte darstellt. Man kann in der That auch die Laterna magica mit dem einzigen Linsenglase NP ausführen, auch fehlt in der Regel (bei den im Handel vorkommenden Exemplaren) die Erleuchtungslinse G. Das Glas MQ wird nur zur Verstärkung der Wirkung beigefügt, und damit man immer bei einer gegebenen Entfernung des Instruments von einer weißen (oder mit einem weißen Tuche behängten) Wand ein deutliches Bild erhalte, kann der Abstand der Gläser MQ und NP verändert werden, zu welchem Zwecke das Glas NP einer Röhre befindlich ist, die in der Röhre, in welcher das Glas MQ fest sitzt, verschoben werden kann. Die Röhre des Glases MQ wird in den cylindrischen Ansatz des Steges aa gesteckt, so daß beide Gläser vom Stege wieder abgenommen werden können, wenn das Instrument nicht mehr gebraucht wird.

Die drei Linsen der Zauberlaterne sind sämmtlich biconvex und haben mittlere Brennweiten, damit man ihnen große Oeffnungen geben kann und die Bilder so lichtvoll als möglich erscheinen. Die Brennweite der Linse MQ wird größer genommen als die der Linse NP. Man könnte z. B. der Linse MQ 5 Zoll und der Linse NP 4 Zoll Brennweite geben und den Abstand beider etwas geringer als 4 Zoll machen. Befindet sich z. B. das Gemälde in einem Abstande von $\frac{1}{2}$ Zoll vom Glase MQ und ist der Abstand eben dieses Glases vom Glase NP $= \frac{33}{9}$ Zoll, so liegt das Bild in einer Entfernung $= 76$ Zoll vom Glase NP und erscheint 18 mal vergrößert.

Die Glastafeln, auf welchen die transparenten Bilder befindlich sind, werden mit einem Rahmen von Papier eingefaßt; statt dessen kann man aber in ein dün-

nes Bretchen runde Löcher schneiden und in dieselben Glasscheiben mit mannichfaltigen Bildern einsetzen. Auf der Wand bildet sich ein runder lichter Kreis, in welchem die Figuren erscheinen.

Man kann das Instrument einem Schirme nähern oder von ihm entfernen, so daß die Bilder bald riesengroß erscheinen, bald auch in ein Flämmchen verschwinden. Wenn hierbei das Bild immer gehörige Deutlichkeit besitzen soll, so muß das Glas NP herausgezogen werden, wenn man das Instrument dem Schirme nähert, dagegen dem Glase MQ näher kommen in dem entgegengesetzten Falle.

§. 99. Dissolving views und Nebelbilder.

Wir können nicht die Laterna magica verlassen, ohne zwei der Neuzeit angehörige Anwendungen derselben, nämlich die verschwimmenden Bilder und die beweglichen Bilder zu erwähnen. Die verschwimmenden Bilder — dissolving views — haben namentlich in England großes Aufsehen erregt, und es ist in der That interessant wahrzunehmen, wie sich aus einem Bilde, das sich klar dem Beschauer darstellt, nachdem es undeutlich und in Nebel verschwommen, ein zweites, von dem ersten ganz verschiedenes Tableau producirt. Ebenso folgt dann ein drittes, viertes u. s. w. Fragen wir, wie solche dissolving views erzeugt werden:

Denken wir uns zwei Zauberlaternen mit bedeutendem, gleich großem Brennpunkt so aufgestellt, daß ihre beiden Lichtkreise so genau auf einander fallen, daß, wenn beide Laternen erleuchtet sind, nur eine einzige helle Kreisfläche auf der Bildwand sichtbar ist. Beide Laternen können durch Blenden geschlossen werden, sind aber durch helle Lampen, oder besser durch Drummondslicht — d. h. Sauerstoff- und Wasserstoffgas (Knallgas) auf Kalk geleitet — so erleuchtet, daß immer die eine Laterne hell, die andere dunkel erscheint, daß aber, wenn in der

einen das Licht nach und nach abnimmt und endlich aufhört, es in der andern beginnt und nach und nach zur vollen Helligkeit steigt und so abwechselnd. Diese Lichtschattirung kann natürlich durch die Blende hervorgebracht werden. Setzt man nun in die eine dieser Laternen das eine Bild und in die andere das zweite, während sie verdunkelt ist, so wird, während man das Licht der einen Laterne ab- und der zweiten zuwendet, oder indem man die Blende der einen langsam schließt und die der zweiten öffnet, das erste Bild in Nebel verschwimmend unsichtbar werden und das zweite allmälig hervorkommen. Die Einsatzbilder müssen auf Glastafeln mit durchsichtigen Oelfarben gemalt sein. Zu bemerken ist noch, daß man in der neuesten Zeit den runden Brennpunkt in einen rechteckigen verwandelt hat, ohne dadurch aber den Bildern eine angenehme Form zu geben.

Interessant sind auch die beweglichen Bilder, bei welchen wir auf einer Wand etwa einen Seiltänzer erblicken, der in schaukelnder Bewegung, mit Händen und Füßen schwankend, auf einem elastisch nachgebenden Seile tanzt. Die Vorrichtung zur Erzeugung dieser Bilder ist etwa folgende: In einem Kasten A (Fig. 8, Taf. XII) der Laterne steht eine helle Lampe oder ein Apparat zum Drummond's-Licht, so daß die Lichtstrahlen von einem parabolischen Metallspiegel an der Hinterwand auf eine Linse K reflectirt werden. Diese Linse wirft das Licht auf das darzustellende Bild in B und letzteres auf die Linse D, wo dasselbe zu dem achromatischen zusammengesetzten Objectivglase E und von dort aus an die Bildwand geworfen wird. Diese Einrichtung ist, wie zu ersehen, ganz gleich mit der einer Laterne, nur müssen wir auf B unsere besondere Aufmerksamkeit richten. Bekanntlich macht jedes Bild auf die Netzhaut des Auges einen Eindruck, der etwa $\frac{1}{5}$ Sekunde anhält; kann man nun an diesen Eindruck, ehe er verschwindet, einen andern fremdartigen anknüpfen, so werden beide unmerklich in einander übergehen. Auf dieser Thatsache beruhen

die Phenakistikope oder die sterobescopischen Scheiben. Malt man nämlich nun auf B den erwähnten Seiltänzer in den verschiedensten Stellungen so um den Rand der Scheibe, daß er anfangs stillstehend, dann nur ein wenig Fuß und Arm hebend und das Seil höher gespannt u. s. w., bis er, dem anfänglichen Ruhepunkte gegenüber, die größeste Abweichung in der Stellung des Körpers und des Seiles zeigt, die dann von hier ab in rückgängiger Bewegung abnehmen, und setzt man dann die Scheibe C undurchsichtig und nur mit so vielen Ausschnitten versehen, als Bilder sind, vor, so wird man, sobald die an der festen Axe F sitzende Kurbel G in Bewegung gesetzt wird, den Eindruck eines regelmäßigen Seiltanzes haben. Natürlich muß die Scheibe B von Glas sein und es müssen die Bilder mit durchsichtigen Oelfarben gemalt werden. H ist ein Diaphragma zur Beschränkung der Oeffnung und der Trennung der Linsen D und E. Die Figuren müssen auf der Scheibe B so gemalt werden, daß die Füße nach dem Mittelpunkte stehen, denn sie werden einmal durch die Linse D und dann wieder durch die Linse E umgekehrt, so daß sie nach zweimaliger Umkehrung wieder die ursprüngliche Stellung eingenommen hat.

Wir führen diese Instrumente an, weil der Künstler auch heute noch in die Lage kommen kann, solche Apparate anfertigen zu müssen, da sie namentlich auch nicht in den physikalischen Kabinetten für Schulen fehlen dürften, um zugleich das Experiment über den Lichteindruck mit der Kenntniß der Construction einer Laterna magica zu verbinden. —

Wir können nicht diesen Abschnitt verlassen, ohne einer natürlichen Linsenvorrichtung Erwähnung zu thun, die nicht nur alle theoretischen Betrachtungen über Linsen überhaupt bestätigt, sondern, nachdem man sie gerade und ihre Stellung zu verschiedenen Objecten näher untersucht, manche Aufklärung über bis dahin in Dunkel gehüllte Thatsachen gegeben hat. Wir meinen na-

türlich die Linse im Auge und betrachten deshalb näher

§. 100. Das Auge.

Wir können nicht oberflächlich diesen Gegenstand behandeln, wie es früher leider so häufig der Fall war, sondern wir müssen genauer darauf eingehen, indem wir den neuesten Forschungen folgen.

Die anatomische Einrichtung des Auges und dessen Functionen sollen hier hauptsächlich erörtert werden, sofern ihre Kenntniß zum Verstehen des Gebrauches der Brillen nothwendig ist. Es wird daher vom menschlichen Auge allein die Rede sein dürfen.

Zum Sehen gehört vor allen Dingen ein Nerv, der im Stande ist, die Bewegungen, welche das Licht vorstellen, aufzunehmen. Es giebt Thiere, in denen ein solcher Nerv sich unter nur durchscheinender Haut ausbreitet und welche dadurch nur in den Stand gesetzt werden, hell und dunkel zu unterscheiden. Sogenannte höher entwickelte Thiere besitzen Augen, d. h. Apparate, deren optischer, durchsichtiger Theil so eingerichtet ist, daß Lichtstrahlen, die von kleinen Flächen eines Gegenstandes kommen, möglichst auf das Ende einer Sehnervenfaser vereinigt werden, und daß von diesen Lichtstrahlen möglichst wenige auf die Enden anderer Sehnervenfasern geleitet werden. Bei verschiedenen Thieren ist dies auf verschiedenem Wege erreicht. Bei den Rückgratthieren ist das Princip der Camera obscura repräsentirt. Das Auge dieser Thiere besteht aus einem optischen Apparat von gekrümmten brechenden Flächen — welcher geeignet ist, divergirende Lichtstrahlen zur Convergenz zu bringen, und einer Platte, welche an der Stelle des Convergenzpunktes der gebrochenen Strahlen liegt.

Mechanische Verhältnisse (nach Gesetzen der Hydrodynamik) gestalteten diese Platte gebogen. — Sie entsprach dadurch zugleich zweierlei Zweck — möglichster

Ausbreitung auf kleinem Raum zu freiem Zutritt für das Licht.

Die Ernährung des ganzen Auges wurde von einer Zahl von Gefäßen besorgt, die zu einer flächenhaften Ausbreitung hinter der vorigen Platte vereinigt, zugleich dasjenige Schwarz hergab, welches nöthig war, damit nicht durch Lichtzerstreuung und Reflexion — wenn von einem Lichtstrahl 2 Sehnervenfaserenden getroffen wurden — Störungen im Sehen einträten.

Es mußte noch außerdem bei den vorigen noch eine Lage hinzugefügt werden, die im Wesentlichen dem Auge die Form erhielt — d. h. eine ziemlich derbe, feste Umhüllungshaut. —

Die so zusammengesetzte zarte Maschine mußte natürlich vor äußeren Schädlichkeiten noch mehr geschützt werden durch knöcherne und häutige Umhüllungen — es mußte beweglich gemacht werden durch Muskeln. Das ist in allgemeinen Umrissen der Bau des Auges vom Rückgratthier. Wir werden denselben alsbald wiederfinden, wenn wir das Auge des Menschen genauer beschreiben.

Es liegt dasselbe größtentheils innerhalb der Augenhöhle. Diese hat beim Menschen die Form einer 4seitigen, etwas unregelmäßig gestalteten Pyramide, der nur die nach vorn liegende Basis fehlt. Sie wird durch häutige, von Muskeln bewegbare Lappen — die Augenlider — ersetzt.

Größtentheils in dieser Augenhöhle, umgeben von vielem Fett, liegt der Augapfel. Seine Gestalt weicht sehr wenig von der Kugelform ab. — Denkt man sich eine Linie gezogen vom gerade angesehenen Punkte gerade durch das Auge bis zu dessen hinterstem Theil — die Augenaxe — so mißt dieselbe 23 — 26 Millimeter. Errichtet man eine senkrechte in der Mitte der Axe — in horizontaler Ebene — größter horizontaler Durchmesser — so mißt sie 22,8 — 26 Millimeter. Die senkrechte auf beide vorige Linien — der größte verticale Durchmesser — mißt 21,5 — 25 Millim.; die schrägen Durch-

messer von innen und außen vorn nach außen und innen hinten sind meist etwas größer. Die Kugel — welche übrigens an einer Stelle — dem Rande der Hornhaut — etwas eingeknickt erscheint — besteht aus einem Inhalt (Flüssigkeiten von verschiedener Dichte) und einer — häutigen — Schale.

Die Kugelschale besteht aus drei Häuten. Die äußerste ist vollständig, der nächst innern fehlt ein kleineres, der innersten ein größeres Stück (zur Constituirung der Kugelschale) in deren vorderem Theile.

Die äußerste Haut ist die Lederhaut. Ihr nach hinten gelegener Theil ist undurchsichtig, der vordere durchsichtig, ersterer heißt Sclerotica, der letztere Cornea (Hornhaut). Die Sclerotica bildet die hinteren $\frac{5}{6}$ einer Kugelschale. Man sieht einen Theil derselben durch die sie nach vorn überziehende, später auf die Lider übergehende Bindehaut durchschimmern und nennt diesen Theil das Weiße im Auge.

Taf. XIX, Fig. 1, stellt den Augapfel dar, an dem wir unterscheiden:

A die Krystalllinse,
B die wässerige Feuchtigkeit der Augenkammer B,
C der Glaskörper,
i und e System der Netzhaut, heftet sich an A,
g Choroidea,
h Ciliarkörper,
c Ciliarfortsatz,
b Regenbogenhaut (Iris),
f Epithelium der Hornhaut und Hornhaut,
d Nervus opticus, geht in die Netzhaut über,
a Schlemm'scher Canal,
m und n Ansetzungsstellen für die Muskeln,
k die Glashaut,
p der gelbe Fleck.

Die Sclerotica (harte Haut, Sclera) ist eine derbe, aus dichtem Bindegewebe bestehende, wenig Blutgefäße führende, wenig biegsame und wenig haltbare Haut. Sie ist hinten am dicksten, nimmt nach vorn allmälig an

Dicke ab bis zu einem Kreis — an dem durch die Ansätze der geraden Augenmuskeln eine Verdickung der harten Haut eintritt. Die Sclera endigt nach vorn zugeschärft, so daß sie nach innen zu früher aufhört, als nach außen und den vordersten Theil der äußersten Augenhülle — die Cornea — wie den Reifen des Uhrglases einfaßt.

Die Cornea hat eine stärkere Krümmung, als die Sclerotica, d. h. sie stellt circa $\frac{1}{3}$ der Schale eines Kugelabschnittes von kleinem Durchmesser als die Sclera dar, der sie so angefügt ist, daß letztere $\frac{5}{6}$ der Kugel umgiebt. Sie hält übrigens nicht genau die Form der Kugeloberfläche ein, sondern mehr die des Paraboloids. Die mittleren Theile der Hornhaut haben einen kleineren Krümmungshalbmesser als die peripherischen. Zum Sehen kommen nur die ersteren in Betracht. Der Radius des mittleren Theiles der Hornhaut mißt 7,8 — 8 Millimeter. Der Scheitel des Paraboloids liegt übrigens etwas nach innen von dem Punkte, in dem die Augenaxe die Hornhaut trifft.

Die Hornhaut ist dicker als die Sclerotica, am dicksten in der Peripherie, weniger dick — jedoch nur ein Unbedeutendes — im Centrum. —

Sie ist in ihren vorderen und hinteren Schichten anders gebaut, als in der Mitte.

Die mittlere — den größten Theil der Hornhaut bildende — Schicht ist ein dem Gewebe der Sclerotica sehr ähnlicher Bau. Sie besteht aus einer durchsichtigen unregelmäßig von plattgedrückten Höhlen (Zellen) durchzogenen Substanz, in welcher Nerven, aber keine Gefäße laufen. Nach außen und innen liegt an diesem Gewebe von derselben Substanz eine von Höhlen nicht durchzogene, also glashelle und regelmäßige durchsichtige Schicht, die dann von einer Lage plattgedrückter häutiger Scheibchen (den Belagzellen, Epithelzellen) bedeckt sind.

Trotz der eben erwähnten unregelmäßigen Bildungen verhält sich die gesunde Hornhaut dem Lichtstrahl gegenüber ganz wie eine gleichmäßig gebildete — einem Uhrglas ähnlich.

Die zweite Hautlage, welche in der Kugelschale des Auges dem Centrum näher liegt, ist die Aderhaut. Loses, weiches Bindegewebe kittet sie an die Lederhaut, der sie bis zur Verbindungsstelle von Sclerotica und Hornhaut dicht anliegt.

Auch hier bildet ein Bindegewebe die Grundlage der Haut.

In die Hohlräume desselben (die Zellen) ist brauner Farbstoff (Pigment) abgelagert. Dieses Bindegewebe wird durchzogen von einer Reihe von Blutgefäßen. Die größern derselben liegen mehr nach der Lederhaut hin, die kleineren, welche aus den größeren durch Theilung hervorgehen, liegen mehr nach dem Mittelpunkte des Auges in der Aderhaut. Sowie das Bindegewebe der Hornhaut nach beiden Seiten, so geht das der Aderhaut nach der inneren Seite in eine Schicht glasheller, gleichmäßiger Substanz über, auf welcher, wie dort, platte, hier sechseckige — und mit Pigment gefüllte Scheibchen (Pigmentzellen) liegen. —

Die Aderhaut führt dem Auge den größten Theil des Blutes zu, dessen es bedarf, und bildet zugleich einen dunklen Belag im Hintergrunde des Auges, um das überflüssige Licht in sich aufzunehmen. — Kakerlacken, welchen dieses Pigment fehlt, sehen bei hellem Licht weit schlechter als andere Menschen. Da, wo, wie wir oben sahen, außen sich an die Sclerotica die geraden Augenmuskeln ansetzen, verdickt sich die Aderhaut, welche im hinteren Theile des Auges c $\frac{1}{3}'''$ dick ist, bis auf $1'''$ und darüber. Diese Verdickung geht nicht ganz gleichmäßig im Parallelkreis um die Aderhaut, sondern es wechseln dickere mit dünneren Stellen ab, so daß die Aderhaut das Ansehen eines zusammengeschnürten Beutels oder einer Halskrause hat. Die dickeren Stellen heißen Strahlenfortsätze — der ganze dickere Theil der Aderhaut, der Strahlentheil.

Dieser Theil der Aderhaut wird dadurch noch mehr in's Innere des Auges gedrängt, daß zwischen die eigentliche Aderhaut und die Lederhaut an dieser Stelle

sich ein Gewebe legt, welches zwei Muskeln enthält. — Die Fasern dieser Muskeln sind durcheinander geschlungen. Die einen laufen im Parallelkreise um das Auge, die andern dagegen haben eine Richtung von vorn nach hinten (d. h. sie laufen in den Meridianen). Die Muskelfasern sind jedoch erst bei bedeutender Vergrößerung zu erkennen. Die Muskeln heißen — Ciliarmuskeln. Sie sind wichtig — wie wir unten sehen werden.

An der Stelle der Verbindung von Sclerotica und Hornhaut verläßt die Aderhaut die Lederhaut um eine ziemlich senkrecht, etwas nach vorn kantige, in der Mitte durchbohrte Wand zu bilden, die nach vorn einen Kugelabschnitt darstellt, der von der Hornhaut und diesem Theil der Aderhaut — der Iris — begrenzt ist. Die Iris hat ein ganz gleiches Gewebe wie die übrige Aderhaut; durch dasselbe ziehen jedoch einige Muskelfasern. Von diesen umzieht ein Theil die Pupille kreisförmig, andere laufen radienförmig von dem äußeren Rande der Iris bis in die Nähe der Pupille. Die ersteren verengen, die letzteren erweitern die Pupille. Die Iris ist bekanntlich von vorn her im Auge sichtbar. Sie erscheint in sehr verschiedenen Farben — blau, grau, braun bis zum schwarz. Die Farbe hängt von der Menge des in ihrem Gewebe abgelagerten Pigmentes ab. —

§. 101. Die Netzhaut und deren anatomischer Bau.

Die am meisten nach innen gelegene, die Kugelschale des Auges bildende Haut ist die Netzhaut. Sie liegt der Aderhaut dicht an, endigt jedoch an der Stelle, an welcher jene sich zu verdicken anfängt.

Sie besteht aus den Endigungen der Fasern des Sehnerven, welche ein ziemlich complicirtes Gewebe bilden. Wir erlangen von diesem Gewebe die beste Vorstellung, wenn wir eine Sehnervfaser von ihrem Ende zurück verfolgen. —

Dieses Ende ist ein cylinder- oder keulenförmig gebildeter häutiger, hohler Körper von großer Kleinheit — zäpfchenartiger Stäbchen. — (Taf. XIX, Fig. 2 a). An diesen schließt sich eine Zelle eng an, welche ihrerseits in einen Faden ausläuft (der jedoch auch hohl ist); dieser Faden ist wieder durch eine Zelle (b) unterbrochen, und hat mehrere Nebenfäden, durch die er mit Nachbarfäden sich in Verbindung setzt. Er endigt schließlich in eine große Zelle (c), aus welcher endlich die eigentlich (und seit lange) sogenannten Sehnervenfasern hervorgehen, welche ihrerseits zum Gehirn führen. Die ersten Theile, die ich eben beschrieben habe verlaufen senkrecht zur Fläche der Netzhaut, der letzte Theil, die Faser (d), liegt in der Netzhaut selbst.

Die Zäpfchen oder Stäbchen sind die Träger der Lichtempfindung. Die Sehnervenfasern, indem sie ihren Weg zum Gehirn suchen, laufen im Auge nach einem Punkte hin, in dem sie sich vereinigen, um zusammen den Sehnerven zu bilden und die Aderhaut und Sclerotica mittels eines runden Loches zu durchbohren. Dieses Loch liegt nach innen und etwas nach hinten vom hinteren Augenpol, d. h. an dem hinteren Ende der Augenaxe. Am hinteren Augenpol selbst hat die Netzhaut eine Grube und ist gelb gefärbt. Diese Stelle circa 1‴ lang und ⅓‴ hoch sieht am deutlichsten. In dem von den genannten Häuten umschlossenen Hohlraum befinden sich verschiedene Flüssigkeiten.

Am meisten nach vorn treffen wir zunächst die wässerige Feuchtigkeit (humor aquaeus). Sie füllt diesen Raum zwischen Hornhaut und Iris — die vordere Kammer. Außerdem füllt sie einen kleinen Raum, welcher hinter der Iris liegt und eine concavconvexe Form hat (B) — die hintere Kammer. Ihre Menge beträgt im Ganzen nur circa 6 Tropfen. Sie ist flüssig und durchsichtig wie Wasser, von dem sie sich in der Brechung und chemischen Zusammensetzung nur wenig unterscheidet.

§. 102. Die Linse des Auges, ihr Bau und ihre physikalische Bedeutung.

Hinter dem von ihr eingenommenen Raume liegt die Linsen-Krystallfeuchtigkeit. Die Krystalllinse hat die Form einer vorn weniger stark als hinten gebogenen Convexlinse. Sie besteht aus sehr vielen Schichten, welche nach dem Mittelpunkte der Linse an Dichte zunehmen — hier den sogenannten Linsenkern constituiren. Die Gesammtbrechkraft der Krystalllinse bleibt jedoch erheblich größer, als die der wässerigen Feuchtigkeit sowohl, wie der noch später zu betrachtenden Glasfeuchtigkeit.

Einen andern Werth hat diese Anordnung der Vertheilung der Linse in stärker und schwächer brechenden Schichten, den der geringen Farbenzerstreuung, der Achromatisirung.

Die einzelnen Schichten der Linse werden durch sechs kantige Fasern, d. h. häutige Röhren mit flüssigem Inhalt gebildet, welche strahlenförmig den Mittelpunkt der Linse umkreisend die verschiedenen Lagen derselben zusammensetzen. — Beim grauen Staar ist es ihr Inhalt, der sich trübt; ihre Haut, welche ihre Glätte einbüßt. —

Die Krystalllinse ist in eine häutige, glashelle Kapsel eingeschlossen, welche ihrerseits durch Bänder von gleicher Beschaffenheit an den Theil der Aderhaut befestigt ist, den wir als den Ciliartheil bezeichnet haben. Den ganzen Raum hinter der Linse (C) nimmt die gläserne Feuchtigkeit ein. Dieser Raum ist sehr dicht von einem Gitterwerk von stärkeren und feineren Häuten durchzogen — deren stärkste, so fein, daß man bis vor Kurzem an ihrer Existenz gezweifelt hat, und die meridianartig so liegen, daß sie sich vorn in der Mitte der Grube schneiden, welche die Linse in den Glaskörper hinein bildet — der tellerförmigen Grube. In den von diesen Häuten gelassenen Zwischenräumen liegt eine eiweißhaltige Flüssigkeit. —

Das ganze System, welches den Glaskörper bildet bricht das Licht weniger stark als die Linse und ungefähr ebenso stark, wie die wässerige Feuchtigkeit.

Der Glaskörper ist von einer dünnen glashellen Haut umgeben, welche ihn von der Netzhaut trennt.

Wir sahen oben, daß bestimmte Theile der Netzhaut die Lichtempfindung haben. Damit wir Bilder von der Außenwelt erlangen, ist es nun nöthig, daß auf der Lage jenes Theils der Netzhaut wirklich optische Bilder äußerer Gegenstände entworfen werden. Wie geschieht das?

Das Licht von Außendingen gelangt zunächst an die Hornhaut. Diese und die wässerige Feuchtigkeit haben eine nahezu gleiche Brechkraft —, welche zwar geringer ist, als die der Krystalllinse, doch aber genügt, um die stärkste Lichtbrechung zu bewirken, die am Auge vorkommt, weil 1) der Unterschied in den brechenden Medien — Luft und wässerige Feuchtigkeit — größer ist als zwischen diesen oder dem Glaskörper und der Linse, 2) der Hornhautradius recht klein ist. Der Brechungsindex der wässerigen Feuchtigkeit ist 1,338, der Hornhautradius 7,8 Millim. Parallel gegen die Hornhaut kommende Lichtstrahlen würden demnach $\left(\text{nach der Formel } F n = \frac{n r}{n-1}\right)$ 30,61 Millim. hinter dem Hornhautscheitel vereinigt werden. Da nun die Netzhaut gewöhnlich 22,6 Millim. hinter dem Hornhautscheitel liegt, so ist eine neue Brechung des Lichtes durch die Linse nöthig, um selbst parallele Lichtstrahlen (also von sehr fernen Gegenständen) auf der Netzhaut zu vereinigen. — Staaroperirte, die keine Linse mehr haben, sehen deshalb auch in der Ferne undeutlich.

Die Lichtbrechung in der Linse geht nun folgendermaßen vor.

Ihre Radien sind im Scheitel — sie wird nämlich von Parallelflächen begrenzt und wir betrachten nur den in der Pupille liegenden Theil derselben — folgende:

Radius im Scheitel der vordern Linsenfläche
9,5 —(10) Millim.
Radius im Scheitel der hintern Linsenfläche
5,88—(6) Millim.

Es sind für lebende Linsen die angegebenen Werthe anzunehmen, welche, wie Helmholtz nachgewiesen, kleiner sind als die für todte Linsen gefundenen.

Der Abstand der Linse von dem Hornhautscheitel beträgt: 3,59(—4) Millim.

Die Dicke der Linse von dem Hornhautscheitel beträgt:
3,59(—4) Millim.

Den Brechungsindex der Linse gegen Luft haben Listing auf 1,4545, Helmholtz auf 1,4517, Senff (für den Ochsen) auf 1,539 bestimmt. Helmholtz hat speciell nachgewiesen, daß durch die Einrichtung der Linse, ihre peripherischen Schichten das Licht weniger stark brechen als die mehr nach ihrem Mittelpunkte gelegenen, deren Brechkraft vermehrt werde. Er zeigt das folgendermaßen:

Denkt man sich die Linse in drei Theile zerlegt, so daß der eine Theil den fast kugelförmigen, jedenfalls stark biconvexen Linsenkern vorstellt (Taf. XVI, Fig. 5), so haben in der Natur unseren anatomischen Kenntnissen nach, die beiden anderen Theile B und C, welche der Summe der peripherischen Linsenschichten entsprechen, die Formen zweier convexconcaven Zerstreuungslinsen. Als solche werden sie natürlich die Brennweite des Kernes, wenn sie mit demselben sich zu einem optischen System verbinden, vergrößern. Je schwächer die Brechkraft dieser Schichten ist, desto geringer werden sie in der Richtung der Vergrößerung der Brennweite wirken. Wird jedoch die Brechkraft der Theile B und C erhöht, so wird immer mehr die Brennweite des ganzen Systems sich vergrößern — d. h. die Brechung durch dasselbe sich verringern. — Es folgt daraus: Die Brennweite des menschlichen Linsensystems ist kleiner, wenn seine peripherischen Schichten ein kleineres Brechungsvermögen als der Kern haben,

größer wenn sie dem Kerne an Brechungsvermögen gleich sind (im ersteren Falle bricht die Linse also das Licht stärker im zweiten Falle schwächer).

Parallel auf die Linse treffende Strahlen würden, berechnet Helmholtz, durchschnittlich 46,3 Millim. hinter einer Linse vereinigt werden.

§. 103. Accommodationsvermögen der Augen.

Demnach würden die durch die Hornhaut nach einem Punkt 26,61 Millim. hinter dem Vorderscheitel der Linse zusammengebrochenen Strahlen sich vereinigen: 16,8 Millim. hinter der Vorderfläche oder 12,8 Millim. hinter der Hinterfläche der Linse; d. h. bei den angegebenen Radien und Brechungsvermögen würde das Auge nicht unendlich ferne, sondern nur nähere Gegenstände deutlich sehen können. Bekanntlich besitzt aber ein gutes Auge die Fähigkeit ferne Gegenstände ebenso deutlich zu sehen wie nahe. Diese Fähigkeit nennt man die Einrichtungs — Accommodationsfähigkeit. Die neuesten Untersuchungen haben erwiesen, daß bei dieser Einrichtung die Linsenflächen ihre Krümmung ändern. Besonders wird der Radius der vorderen dieser Fläche beim Sehen in der Nähe kleiner, und rückt dieselbe um Einiges nach vorn, während die hintere Linsenfläche weniger ihre Gestalt und ihre Lage verändert. — Im Gegentheil wird wieder beim Sehen in die Ferne hauptsächlich der Radius der vorderen Linsenfläche größer und dieselbe rückt mehr nach hinten.

Diese stärkeren und schwächeren Krümmungen beider und vorzugsweise der vorderen Linsenfläche werden bewirkt durch einen complicirten Mechanismus, welchen die Muskeln der Iris und die Ciliarmuskeln wesentlich bedingen. —

Die Grenzen der Accommodationsfähigkeit der Augen sind für die Nähe — die Distanz von $3\frac{1}{2}''$ vom Auge, für die Ferne unendliche Entfernungen, ja es

kann ein gutes Auge sich sogar für solche Lichtstrahlen einrichten, die convergent in's Auge gelangen, oder, wie man sich wohl ausdrückt, aus überunendlicher Entfernung kommen.

Ist das Auge für gerade vor ihm liegende Gegenstände genau eingerichtet, so ist es nicht accommodirt für seitlich liegende Gegenstände; auch ist die Einrichtung des Auges nicht vollkommen dieselbe für nach oben oder unten vom Auge, wenn es gerade aus sieht, liegende Gegenstände.

Es wird nun nicht mit der ganzen Netzhaut gleichgut geschehen. Man prüft am einfachsten, wie gut man sieht, wenn man es unternimmt zwei in bestimmter Entfernung von einander befindliche Punkte als getrennt zu unterscheiden. Man hält diese zwei Punkte zunächst vor sich und sieht gerade darauf hin. Man entfernt sie allmälig vom Auge, so kommt ein Punkt, in dem sie nicht mehr getrennt erscheinen. Man notirt dessen Entfernung und bringt dieselben Punkte auf eine Seite, oder nach oben oder nach unten, immer gerade aussehend und die Entfernung suchend, in der diese zwei Punkte als einer erscheinen. Vergleicht man diese Entfernungen an den verschiedenen Gegenden des Raumes mit einander, so findet man, daß wenn die Punkte gerade vor dem Auge sich befinden, sie in der größern Entfernung vom Auge als zwei unterschieden werden; in einer recht großen Entfernung auch noch, wenn sie um Weniges nach rechts oder links, oben oder unten von diesem Punkte gehalten werden — diese Stelle des deutlichsten Sehens nimmt 1) den gelben Fleck, dann eine ovale Stelle um diesen herum von geringer Ausdehnung ein, deren größter Durchmesser horizontal ist. Geht man über diese Grenzen hinaus, nach den Seiten oder nach oben und unten, so nehmen die Entfernungen, in denen die Punkte als zwei unterschieden werden, also die Empfindlichkeit der Netzhaut sehr rasch ab.

Es liegt der Grund dieser Erscheinung in der Structur der Netzhaut, in deren Peripherie die Stäbchen und Zäpfchen sparsamer stehen.

Es ist ein Faktum, daß wenn Licht von einem Punkte äußerer Gegenstände die Netzhaut trifft, der Punkt selbst außerhalb des Auges in einer Richtung gesucht wird, die bestimmt ist durch den getroffenen Punkt der Netzhaut und die Knotenpunkte des Auges, — welche den Knotenpunkten jeden optischen Systems entsprechen. Diese Knotenpunkte liegen in der Augenaxe und zwar im hinteren Theil der Krystalllinse. Ihre Lage wechselt natürlich um etwas mit der Brechkraft und Lage der brechenden Medien des Auges (ist z. B. verschieden beim Weit- und Nahsehen). Helmholtz berechnet ihre Lage für das normale Auge. Der vordere Knotenpunkt liegt nach ihm: $\frac{3}{4}$ — $\frac{5}{4}$ Millim. vor dem Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut; d. h. ungefähr ebenso viel vor der Hinterfläche der Krystalllinse. Der hintere Knotenpunkt liegt ungefähr $\frac{4}{10}$ Millim. hinter dem vorderen.

Auf diesem Wege werden die umgekehrten Netzhautbilder in aufrechte Gegenstände durch geistige Thätigkeit übersetzt. Soweit die Netzhaut reicht, ist sie empfindlich. Es folgt aus dem Vorigen, daß sie nicht die ganze vor ihr liegende Außenwelt auffassen kann, sondern, daß wenn das Auge gerade aussieht, gewisse seitlich liegende Theile der Außenwelt nicht gesehen werden. Es werden bei geradeaus sehendem Auge die nah gesehenen Gegenstände durch den Mantel eines Kegels eingefaßt, dessen Spitze im vorderen Knotenpunkt liegt und dessen Winkel ziemlich stumpf zwischen 150 und 135° variirt. — Die Basis dieses Kegelmantels heißt das Gesichtsfeld des Auges.

Die brechenden Medien des Auges haben nahezu Kugelflächen. Es würden deshalb bedeutende Undeutlichkeiten der Netzhautbilder eintreten, wenn nicht nur der Axe nach einfallende Lichtstrahlen zum Sehen benutzt würden. Diesem Zweck dient die Iris mit der Pupille. Sie liegt zwar mitunter etwas seitlich von der Sehaxe

mit ihrem Mittelpunkt, doch nur so viel, daß erhebliche Sehstörungen dadurch bedingt würden. —

Durch das Aneinanderreihen vieler brechender Medien aber wird die Farbenzerstreuung — d. h. das Farbigsehen der Ränder von Gegenständen erheblich verringert. Es wird durch dieselbe Einrichtung auch die Menge des in das Auge, d. h. auf die Netzhaut gelangenden Lichtes verringert.

Mit zwei Augen sehen wir gewöhnlich einfach — meistentheils jedoch nur aus Unaufmerksamkeit. Genaue Untersuchungen über diesen Gegenstand haben Folgendes gelehrt.

Auf jeder der zwei Netzhäute sind bestimmte einander entsprechende — congruente Punkte — d. h. nur Gegenstände, von deren einzelnen Punkten die Bilder auf diese „entsprechenden" Punkte der Netzhaut fallen, werden einfach gesehen.

Die congruenten Punkte sind so auf der Netzhaut vertheilt, daß Flächen (d. h. also ein Kreuz u. s. w.) nur einfach gesehen werden, wenn sie bei einer Neigung der Augenaxen 45° unter die Horizontalebene auf die Augenaxen senkrecht gehalten werden — in jeder beliebigen Entfernung vom Auge.

Bei markirten Figuren können durch die Augenmuskeln auch dann die Augen richtig zum Einfachsehen eingestellt werden, wenn die Augen und Objectstellung um Geringes von der angegebenen differirt.

Linien in senkrechter Ebene können bei verschiedenen Neigungen ebenfalls einfach gesehen werden, wenn die Augenaxen in entsprechenden Winkeln zur Horizontale geneigt werden.

Bringt man jedem Auge ein besonderes Object, so vermischen sich die Bilder, wenn sie geistig, d. h. erfahrungsgemäß — vereinbar sind —, zu einem gemeinsamen Bilde, welches jedoch mitunter erst nach langdauernden Versuchen, d. h. erst dann entsteht, wenn durch die Augenmuskeln solche Stellungen der Augen hervorgebracht sind, daß congruente, oder identische Stellen beider Netz-

häute getroffen und so ein gemeinsames Bild erzeugt werden kann. — Dies ist das Princip, welches den Stereoscopen zu Grunde liegt. —

Die Entfernung von Gegenständen, die man sieht, schätzt man nach ihrer Größe, Deutlichkeit, nach den zwischenliegenden Objecten und dem Gefühl der Bewegungen eines und beider Augen, die nöthig sind, um den Gegenstand zu sehen. Diese Bewegungen sind innere — die Einrichtung des Auges für bestimmte Entfernungen — und äußere — Einstellung beider Augenaxen in verschiedenen Winkeln für verschiedene Entfernungen, seitliche &c. Drehungen der Augen und Bewegungen des Kopfes.

§. 104. Äußere Bewegungen des Auges.

Die äußeren Bewegungen jedes Auges werden durch 6 Muskeln bewirkt, deren je zwei einander mehr oder weniger entgegenwirken.

Einer dieser Muskeln zieht den Scheitel des Auges nach außen, der andere nach innen — das sind der äußere und innere gerade. Ein Muskel zieht den Scheitel der Hornhaut nach oben — etwas nach innen, der ihm gegenüberliegende nach unten, etwas nach innen. Beide rollen das Auge etwas um seine Axe, der erste so, daß der oberste Theil desselben nach innen, der andere, daß er nach außen zu liegen kommt. — Endlich giebt es noch zwei sogenannte schiefe Augenmuskeln — der obere zieht den Scheitel der Hornhaut nach unten etwas nach außen, der untere nach oben etwas nach außen. Beide rollen wieder das Auge um seine Axe, der erstere mit dem oberen Theile nach innen, der andere nach außen.

Werden beide Augen zusammen bewegt, so halten sie gewöhnlich eine Richtung ein, so daß außer den beiden innern geraden Augenmuskeln, nur correspondirende Augenmuskeln z. B. ein innerer und ein äußerer gerade zusammen wirken.

Gewöhnlich wirken schon bei den meisten Bewegungen des einzelnen Auges nicht einzelne sondern mehrere Muskeln zusammen, wie aus den neueren Untersuchungen hervorgeht.

§. 105. Fehler des Auges.

Im optischen Bau des Auges sind zwei Fehler möglich. Dasselbe bricht das Licht zu stark — es ist kurzsichtig — oder es bricht das Licht zu schwach — es weit oder übersichtig.

Weitsichtige — weil unter alten Leuten häufig — auch altsichtige, presbyopische Augen vereinigen von nahen Gegenständen die Lichtstrahlen erst hinter der Netzhaut, haben daher auf der Netzhaut Bilder mit Zerstreuungskreisen d. h. undeutliche Bilder von denselben.

Wie entsteht Weitsichtigkeit?

1) Durch Plattwerden der Hornhaut (Vergrößerung des Hornhautradius) in Folge von äußerem oder innerem Druck auf's Auge. Es sind keine anderen Ursachen für die Vergrößerung des Hornhautradius nachgewiesen.

2) Durch Vergrößerung der Radien der Linsenflächen — in Folge von Lähmung der Accommodationsmuskeln; in Folge von Schwindung der Linsenmasse (besonders der Flüssigkeiten derselben im Alter.)

Wann kann man ein Auge weitsichtig nennen?

Für das normale Auge haben wir oben den Spielraum der Accommodation so festgestellt, daß wir sagten, es sehe Gegenstände in 4" und in unendlicher Entfernung vom Auge deutlich. Wir werden uns über diesen Punkt genauer aussprechen müssen. — Wenn man vom Deutlichsehen spricht, so hat man eigentlich zweierlei

Dinge im Auge, einmal das reine, unverwischte optische Netzhautbild, andererseits die Größe des gesehenen Gegenstandes — d. h. des Netzhautbildes. Wir sahen aber, daß zwei Punkte — mit bestimmter Distanz — nur noch in bestimmten Entfernungen vom Auge deutlich getrennt gesehen werden. Diese Entfernungen sind verschieden nach der Beleuchtung der gesehenen Gegenstände.

Wir werden, wenn wir den Accommodationsspielraum eines Auges finden wollen, die Hindernisse, welche aus der Größe und Beleuchtung der gesehenen Gegenstände erwachsen, beseitigen müssen; d. h. wir sollen womöglich bei gleichem Licht unsere Prüfungen machen, und wir sollen bei verschiedenen Entfernungen mit verschieden großen Gegenständen prüfen. Sieht ein Mensch erst in 10″ Entfernung deutlich, so wird er nicht so kleine Gegenstände erkennen, wie ein anderer, der in 4″ Zoll deutlich sieht.

Nach diesen Vorbemerkungen können wir ohne Anstoß von einem Deutlichsehen des Weitsichtigen sprechen. — Es giebt nun Weitsichtige, die noch in einer Entfernung von 6 — 7″ deutlich sehen, jedoch mit Anstrengung und nur für die erste Zeit. Am liebsten sehen sie wohl in einer Entfernung von 10 — 12″. (Gegenstände, die für diese Entfernung zu klein sind, werden von ihnen auf die Dauer nicht erkannt). — Die Weitsichtigkeit geht jedoch weiter; die Menschen können erst in 2, 3″, ja in unendlicher Entfernung Sterne deutlich sehen. Ja es kommt vor, daß ein Auge erst solche Strahlen zum Bilde zu vereinigen vermag, welche schon vor dem Auge nach einem hinter der Netzhaut liegenden Punkt convergirten, oder, wie man sich ausdrückt, aus überunendlicher Enfernung kommen.

Wie zeigt sich die Weitsichtigkeit?

Zunächst ist zu bemerken, daß es von vorn herein weitsichtig gebaute Augen giebt, und daß die Accommodation von Gegenständen allmälig an Terrain — besonders in der Nähe — verliert. Man findet daher auch in der

Jugend Weitsichtige. Hier, wo die Muskeln noch kräftig sind, ebenso wie im ersten Anfang des Entstehens der Weitsichtigkeit kann das Auge sich mühsam auf kurze Zeit auf eine zum Erkennen kleiner Gegenstände (Schrift, Naht) nothwendige Entfernung einrichten. Im ersten Anfange geht daher das Arbeiten ganz gut; allmälig wird die Anstrengung des Muskels als Schmerz, Druck, Thränen gefühlt, dann wird die Einrichtung vorübergehend unmöglich — die zu sehende Arbeit verläuft, verwischt sich. Jedoch wenn die Augen auf kurze Zeit geschlossen werden, kann die Arbeit wieder leichter gesehen werden; endlich am Abend bei Licht — oder auch bei Tageshelle, wenn Tagüber gearbeitet war, später nach mehreren, nach einer, einer halben Stunde, wird die Arbeit unmöglich, die Gegenstände verschwimmen. Diese Augen heißen schwache Augen (im gewöhnlichen Leben.)

Ist die Weitsichtigkeit größer, oder der Muskel schwächer, so ist ein Sehen in solcher Nähe, um kleine Gegenstände zu sehen, nicht mehr möglich. Alles muß in weiterer Entfernung vom Auge gehalten werden, um erkannt zu werden. Der Weitsichtige sucht dann durch Lichtstärke zu ersetzen, was er an der Nähe verloren hat. Er bringt das Buch hinter die Lampe oder das Licht; er liest in der Sonne, arbeitet bei grellem Licht.

Noch stärker weitsichtige können nun nur noch größere Gegenstände, oder entfernte Gegenstände deutlich sehen. Bei den höchsten Graden von Weitsichtigkeit, der Uebersichtigkeit tritt dann selbst die Unmöglichkeit, ein in größerer Entfernung deutlich zu sehen, alle Gegenstände erscheinen verschwommen, undeutlich. — Dann tritt eine merkwürdige Erscheinung zu Tage. Es werden nämlich von solchen Menschen ziemlich kleine Gegenstände in sehr großer Nähe vom Auge ohne viel Mühe erkannt; sehr kleine Gegenstände, die ein normales Auge noch deutlich sieht, nicht unterschieden. Es rührt diese Erscheinung davon her, daß die aus den Zerstreuungskreisen des undeutlich entworfenen Bildes entstandenen Schatten

kleiner werden im Verhältniß zum Kernbilde, wenn das letztere sehr groß wird. — Solche Menschen gelten oft für kurzsichtig.

Es giebt nun Menschen, die zwar in einer bestimmten Entfernung deutlich sehen, sehr wenig nähere und sehr wenig fernere Gegenstände aber nicht mehr deutlich erkennen. Sie haben die Fähigkeit der Accommodation für verschiedene Entfernungen verloren. Gewöhnlich liegt nun der Punkt, in dem deutlich gesehen wird, weiter vom Auge, als derjenige, in dem kleine Gegenstände noch gut erkannt werden. Es ist dann ein solches Auge für die Beschäftigung mit kleinen Gegenständen weitsichtig, während es für andere Beschäftigungen (Jagd, Schifffahrt 2c.) kurzsichtig ist. Es giebt ferner Menschen, deren einzelne Augen sich zwar in ganz normaler Weise für verschiedene Entfernungen einrichten können, welche aber trotzdem mit beiden Augen in größerer Nähe nicht andauernd arbeiten können, weil ihre inneren geraden Augenmuskeln zu schwach sind. Diese Schwäche verräth sich durch Schmerz an der Innenseite der Augäpfel bei langdauernder Beschäftigung mit kleinen Gegenständen, ungenügende Beweglichkeit der Augen in den inneren Winkel hinein und Abweichen eines Auges, besonders wenn es verdeckt wird, von einem Gegenstande, der in der Mittellinie sehr nahe vor den Augen gehalten wird. Solche Augen gehören in die ärztliche Behandlung.

Meistentheils erkennt man weitsichtige Augen schon an der Enge der Pupille und der geringen Tiefe der vorderen Kammer. Um den optischen Apparat eines weitsichtigen Auges dem eines normalen — annähernd — gleich zu machen, d. h. ihn zu verstärken, muß man ihm eine Sammellinse hinzufügen.

Sie macht zugleich — durch Concentrirung der Lichtstrahlen — den zu sehenden Gegenstand heller und — mehr oder weniger — größer, weil sie den optischen Apparat verlängert, also die Knotenpunkte des Auges nach vorn rückt, wodurch das Netzhautbild des Gegenstandes größer wird.

Ueber die Wahl des Sammelglases sprechen wir unten im Zusammenhange.

Kurzsichtigkeit. Das kurzsichtige Auge entwirft nur von nahe gelegenen Gegenständen deutliche Netzhautbilder, bricht also das Licht stark. Starke Krümmung der Hornhaut und starke Krümmung der Linsenflächen sind die Ursachen der Kurzsichtigkeit.

Wann ist ein Auge kurzsichtig zu nennen?

Es ist natürlich ein Auge schon dann kurzsichtig zu nennen, welches auch in bedeutender Entfernung liegende größere Gegenstände nicht deutlich erkennt. Bei höheren Graden von Kurzsichtigkeit wird schon in wenigen Schritten Entfernung nicht deutlich gesehen, ja es giebt Augen, die gar nicht deutlich sehen, selbst in nächster Nähe — ohne Concavglas (dieser Grad von Kurzsichtigkeit ist meist Folge einer Erkrankung des Auges). Von vorn herein kurzsichtig gebaute Augen werden durch dauernde Beschäftigung mit kleinen Gegenständen (des Gelehrten, mancher Handwerker — Drucker, Uhrmacher, Mechaniker, Nähter) dauernd kurzsichtiger.

Schon oben sahen wir, daß es Augen giebt, welche für kleine Gegenstände weitsichtig, für größere (entfernte) kurzsichtig sind.

Eine eigenthümliche Art von Kurzsichtigkeit findet man mitunter. Diese Augen sehen Gegenstände bis auf nicht ganz kleine Entfernungen (20′) vollkommen deutlich, über diese Entfernungen hinaus, nicht wie andere kurzsichtige Augen allmälig immer undeutlicher, sondern plötzlich ganz undeutlich; eine Erscheinung, welche erklärt wird durch einen bei der leisesten Undeutlichkeit des Netzhautbildes in den die Accommodation des Auges besorgenden Muskeln entstehenden Krampf, der jetzt eine sehr bedeutende Kurzsichtigkeit hervorruft, die vorher nicht existirte.

Wie zeigt sich die Kurzsichtigkeit?

Sie zeigt sich natürlich hauptsächlich, wenn es darauf ankommt, in größeren Entfernungen deutlich zu sehen. Sie zeigt sich wenig an kleinen Gegenständen, die der Kurzsichtige gewöhnlich, weil er sie größer sieht, leichter erkennt als normale Augen.

Seine vordere Augenkammer ist tief. Seine Pupille meistentheils weit.

Um in größeren Entfernungen deutlich zu sehen, muß der Kurzsichtige die Brechung in seinem Auge verringern, er muß sich ein Zerstreuungs- oder Concavglas vorsetzen.

§. 106. Wahl der Brillen a) für Weitsichtige

Jedes zu einer Brille zu verarbeitende Glas hat eine Nummer. Diese bedeutet die Brennweite des Glases f. Dieselbe wird für Sammelgläser positiv genommen.

Für Gläser gilt die bekannte Gleichung

$$\pm \frac{1}{a} \pm \frac{1}{b} = \pm \frac{1}{f}.$$

Wir sehen, daß in unserem Fall $\frac{1}{f}$ positiv sein soll.

a ist für unsern Fall die Entfernung, in der deutlich gesehen wird. Sie ist positiv — weit von der Linse befindlich — so lange das Auge überhaupt objective Gegenstände sieht, negativ, wenn es sich nur für überunendliche Entfernungen einrichten kann. b ist die Entfernung, in welche das Bild des Gegenstandes gerückt werden soll, — 8 — 10″ (die des normalen Auges). Sie ist in unserm Fall immer negativ, weil sie vor der Linse liegt. — Die oben aufgezeichnete Formel heißt also für unsern Fall $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ oder auf f berechnet

$f = \frac{a\,b}{a - b}$; und für den Fall, daß das Auge übersichtig ist $f = \frac{-a\,b}{-a - b}$ oder $\frac{a\,b}{a + b}$.

Beispiele: Welche Brennweite hat das Glas, das ein Auge braucht, welches erst in einer Entfernung von 20″ Gegenstände von entsprechender Größe deutlich sieht, um in normaler Entfernung deutlich zu sehen? Obige Formel enthält für diesen Fall folgende Werthe

$$f = \frac{20 \cdot 8}{20 - 8} = \frac{160}{12} = 13{,}3.$$

Welche Brennweite muß das Concavglas für ein ... haben, welches für (überunendliche) Entfernung − 20″ eingerichtet ist, um in normaler Entfernung Gegenstände deutlich zu sehen?

Unsere Formel enthält folgende Werthe?

$$f = \frac{20 \cdot 8}{20 + 8} = \frac{160}{28} = 5{,}7.$$

... bemerke, daß jedes Auge, das übersichtig ist, für ...ihe d. h. für 8″ Entfernung ein Concavglas mit Nummer (Brennweite) unter 10″ braucht. Solche ... brauchen auch für die Ferne Convexgläser nach dem Beispiele.

Ein Auge sieht erst in — 20″ Entfernung deutlich. Es will in einer Entfernung von 100 Schritt deutlich sehen. Welche Brennweite muß das entsprechende Glas haben?

$$f = \frac{20 \cdot 2400}{20 + 2400} = 19{,}8\ (20).$$

Der großen Wichtigkeit wegen soll noch das Beispiel eines am Staar operirten Auges angeführt werden. Ein solches ist eingerichtet für eine Entfernung von — 3,5″ (ungefähr, es giebt auch da Verschiedenheiten, die jedoch nicht sehr bedeutend sind); höchstens Abweichun... um 1 — 1½″. Ein solches Auge braucht, um i. eine Entfernung von 10″ deutlich zu sehen, ein Sam... Nr. —

$$\text{von } f = \frac{3{,}5 \cdot 10}{3{,}5 + 10} = 2{,}5;$$

um in der Entfernung von 100 Schritt deutlich zu sehen, ein Sammelglas von

$$f = \frac{2400 \cdot 3{,}5}{2400 + 3{,}5} = 3{,}5.$$

Am Staar operirte Augen haben übrigens immer jede Fähigkeit sich für verschiedene Entfernungen einzurichten verloren.

Die schwächsten Sammelgläser brauchen Augen, die an Augenmüdigkeit — wie wir sie oben geschildert haben — leiden. Ihre Brennweiten wechseln zwischen 45″ und 100″.

Wir wollen für den Gebrauch der ausgesuchten Sammelgläser einige Regeln aufstellen.

Es ist hier vor allen Dingen ein Vorurtheil zu bekämpfen. Man glaubt sehr häufig, man dürfte Convexgläser nur dann anwenden, wenn das Auge auf keine andere Weise etwas sehen könnte. Diesem Irrthum muß entschieden entgegengetreten werden. Stellt sich ein Auge als weitsichtig heraus, so muß — zunächst für feinere Arbeiten — die Brille immer gebraucht werden; selbst dann gleich bei Beginn der Arbeit, wenn die Augen erst nach einiger Zeit außer Stande sind, die Arbeit genügend zu sehen. Ueberſichtige müssen die für die Ferne bestimmte Brille dauernd tragen.

Tritt der Fehler der Accommodationsbeschränkung zur Weitsichtigkeit, so ist es nöthig, 1) bei kleiner Arbeit stets die passende Brille zu tragen, 2) in der Arbeit Pausen zu machen, weil das Auge, gezwungen in einer Entfernung dauernd zu sehen, ebenso ermüdet, wie der Arm, der dauernd in einer Stellung gehalten wird. (Das gesunde Auge wechselt deshalb öfter die Entfernung, in Sie es sieht.)

Linse Man spricht mitunter von einem Gewöhnen an die

also fi. Es bezieht sich das auf die Gewöhnung an die

lbilder, die man auf jeder Brille (auf der dem

Auge zugekehrten Fläche sieht.) Es ist gleichgültig, ob die Brillengläser biconvex, planconvex oder concavconvex sind, ebenso ob sie rund oder oval gewählt werden. Dagegen ist von Wichtigkeit das Gestell der Brille so zu wählen, daß die Mitte — Axe — der Gläser mit den Pupillen (den Augenaxen) zusammentrifft. Dasselbe muß fest auf der Nase sitzen.

Soviel über die theoretische Bestimmung von Brillen für Weitsichtige. Wie man solche practisch aussucht, um sie theoretisch zu bestimmen, und nachdem man das gethan, werde ich unten auseinander setzen.

b) Kurzsichtige.

Die Brennweite kurzsichtiger Augen ist negativ. Unsere allgemeine Formel hat daher folgende Zeichen:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}; \; -f = \frac{a\,b}{b-a},$$

d. h. man findet die Brennweite des für den Kurzsichtigen nöthigen Brillenglases, wenn man das Product aus der Entfernung, in der er noch deutlich sieht, in die Entfernung, in der er durch die Brille deutlich sehen soll, dividirt durch die Differenz beider Entfernungen.

Ein Kurzsichtiger kann eine Brille brauchen, zum Sehen auf der Straße, zum Sehen im Theater, zum Sehen von Noten (beim Musiciren).

Ich nehme nun an, ein Kurzsichtiger sieht noch in einer Entfernung von 12″ vom Auge deutlich.

Er soll Noten lesen in 18″ Entfernung; dazu braucht er ein Glas mit der Nummer (Brennweite) $-\frac{12 \cdot 18}{6} = 36.$

Er soll im Theater deutlich sehen auf 25 — 30′ Entfernung; dazu braucht er Glas Nr. $-\frac{12 \cdot 360}{348} = 12{,}5.$

Er soll auf der Straße deutlich sehen bis in eine Entfernung von 0,100′; dazu braucht er Glas Nr. $-\frac{12 \cdot 1200}{1158} = 12.$

Brillen für solche Kurzsichtige, die bis in eine etwas größere Entfernung deutlich, dann aber plötzlich sehr undeutlich sehen, brauchen sehr schwache Concavgläser.

Concavgläser dürfen immer auf kurze Zeit vorgenommen werden; sie dürfen nur für ferne Gegenstände angewendet und müssen mit Aengstlichkeit entfernt werden, sobald das Auge für nähere Gegenstände sich einrichtet. Sie dürfen daher nur als Lorgnetten gebraucht werden. Nur in dem einen Falle ist eine Concavbrille statthaft, wenn nämlich die Brille zum Musiciren gebraucht werden soll.

Auch hier ist es gleichgültig, ob man biconcave oder planconcave oder convexconcave — pericopische — Gläser einsetzt.

§. 107. Methoden, die Seheweiten zu prüfen. (Wahl der Brillen).

Soweit lassen wir die theoretischen Auseinandersetzungen und wenden uns zum practischen Theil der Untersuchung über die Auswahl von Brillen. —

Wir haben uns zunächst darüber klar zu werden, wie man die Entfernung bestimmt, in der ein Auge deutlich sieht. Es sind zu diesem Zweck eine Reihe von Instrumenten und Vorrichtungen erfunden worden; inzwischen scheinen dieselben fast sämmtlich unzweckmäßig zu sein, einmal weil sie gebildete Beobachter (an den zu untersuchenden Augen) verlangen, andererseits weil sie zu complicirt sind oder nur mit bedeutenden Schwierigkeiten zum angestrebten Ziele führen.

Von den einfacheren Vorrichtungen dieser Art nennen wir die von Lehotz. Derselbe spannt einen weißen Faden über eine schwarze Fläche. Der zu untersuchende Mensch legt das Auge an das eine Ende dieses Fadens und sieht in dessen Richtung. Er fixirt nun einzelne Stellen des Fadens. So lange das Auge sich nicht für die fixirte Stelle einrichten kann wird der Faden doppelt

gesehen. Er erscheint erst vom Nahepunkt des deutlichen Sehens an einfach. — Die Beobachtung der Erscheinung fordert eine Uebung im Beobachten, die dem Laien in der Physik und Physiologie abgeht. Es wird deshalb das beschriebene Werkzeug zwar im Laboratorium, schwerlich aber im Verkaufsladen von Brillen anwendbar sein.

Andere schon complicirtere Instrumente sind construirt mit Benutzung des Scheiner'schen Versuches. Scheiner bohrte zwei kleine Löcher so in eine Platte, daß ihre Entfernung kleiner war, als der Durchmesser der Pupille. Durch diese Löcher wird eine Linie (Nadel 2c.), die so vorgehalten wird, daß sie 1) senkrecht auf der Verbindungslinie der beiden Löcher steht, 2) gerade in die zwischen beiden Punkten in der Mitte liegende Ebene fällt, nur dann einfach gesehen, wenn das Auge ganz genau sich für die Entfernung, in welcher jene Linie sich befindet, einrichten kann, in allen übrigen Entfernungen erscheint sie doppelt. Die Nothwendigkeit dieser Erscheinung erhellt leicht, wenn man die in's Auge dringenden Lichtstrahlen von einem vor demselben näher, als der Punkt, für welchen es sich einrichten kann, liegenden Punkt zeichnet, (Taf. XVI, Fig. 6) wo das Auge für einen ferneren Punkt eingerichtet ist.

a) Punkt, für den das Auge eingerichtet werden kann.
b) Ort des vorgehaltenen Gegenstandes.
c) Bild des Punktes a.
d) Bild des Punktes b.
e und f) Orte, in denen die in d gekreuzten Lichtstrahlen die Netzhaut treffen.
g) Knotenpunkt des Auges.
h und i) Orte, an denen der Punkt b gesehen wird.

Auf diesen Verhältnissen beruht die Construction des Stampfer'schen Instrumentes, in welchem statt der zwei Löcher zwei Spalten angebracht sind, durch die man nach einem dritten Spalt sieht. Jene zwei und dieser eine Spalt sind — angebracht an ineinander verschiebbaren Röhren — einander zu nähern und zu entfernen.

Man findet den Nahepunkt, indem man beide Spaltflächen so lange nähert, bis der einzelne Spalt anfängt doppelt zu erscheinen. Aehnlich bestimmt man den Fernpunkt. Man findet diese Maschine in sehr vielen optischen Brillenverkaufsläden; sie ist nichts destoweniger unpraktisch — und das aus Gründen, auf die wir näher eingehen müssen, da ihre Kenntniß für die Auswahl von Brillen überhaupt von Wichtigkeit ist.

Einmal ist das Auge beim Sehen in jeder Maschine genirt; die Angaben werden daher unsicher, abweichend ausfallen.

Ferner findet man sehr häufig, daß die Entfernungen innerhalb deren sich ein Auge einrichten kann verschieden angegeben werden, ob nun die Augen einzeln oder zusammen geprüft werden.

Endlich kommt hier ein Umstand in Betracht, der von großer Wichtigkeit ist. Es kommt im Allgemeinen nämlich, wo es sich um das Aussuchen von Brillen handelt, weniger auf die Bestimmung der äußersten Grenzen der Accommodation an, derjenigen Grenzen, welche nur durch bedeutenden — für die Dauer unmöglich — Anstrengungen des Auges erreicht werden können, es kommt vielmehr darauf an, diejenigen Grenzen der Entfernungen zu bestimmen, für welche sich das Auge ohne große Mühe — also auch für längere Zeit einrichten kann; denn nur auf solche Entfernungen können sich die auszusuchenden Brillen beziehen. — Diese Entfernungen, diese Grenzen können durch die obengenannten Instrumente nicht gefunden werden, weil bei solchen Instrumenten und augenblicklichen Versuchen dem Auge der Maßstab für seine Anstrengungen abgeht. Es ist dieses ein Vorwurf der sowohl in Bezug auf weitsichtige als auf kurzsichtige Augen gilt.

Wir haben nun unsererseits eine practisch brauchbare Methode zur Bestimmung der Grenzen der Accommodation in jedem speciellen Fall anzugeben.

'estimmen zunächst den Nahepunkt—eine Bestim-
'uptsächlich bei weitsichtigen Augen vorkommt.
'n zwei Wege. Einmal haben wir dem
'e Schrift von $1\frac{1}{2}$ — 2' Höhe (oder
'ntfernung von einander stehende senk-
'he von mäßiger Dicke auf weißem
.. Ein nicht sehr stark weitsichtiges
Schrift in irgend einer Entfernung
'lich erkennen. Es wird eine Entfernung
'er die Schrift zwar nah, aber mühsam er-
'd. Etwas weiter vom Auge dagegen wird sie
bequem und ohne Anstrengung deutlich gesehen. Die
'ere ist nnn die Entfernung, welche zur Berechnung der Brille dienen muß. Stärker weitsichtige Augen werden nun solche Schrift in keiner Entfernung mehr deutlich sehen — weil ihr Nahepunkt soweit vom Auge entfernt liegt, daß die Schrift schon zu klein ist um erkannt zu werden Sie können jedoch über der Straße liegende Gegenstände ebenso deutlich erkennen wie normale Augen. Um hier eine genaue Brille zu bestimmen, wird man daher zuerst ein etwas schwächeres Converglas vor das Auge bringen (z. B. Convex Nr. 30 oder 24). Mit diesem bewaffnet, wird das Auge dann die mittlere Schrift in einer bestimmten Distanz mühsam aber deutlich erkennen. Aus dieser Entfernung kann man dann den Nahepunkt des unbewaffneten Auges und daraus die nöthige Brille berechnen. —

Dieser Weg ist jedoch immerhin etwas umständlich, wenn er auch der wissenschaftlichere ist. Er wird noch umständlicher, wo es sich um Uebersichtigkeit handelt. Hier wird in keiner Entfernung deutlich gesehen. Man muß daher auf das Gerathewohl irgend ein Converglas (z. B. + Nr. 15) herausnehmen und mit diesem die Entfernung bestimmen, in der mittlere (oder größere) Schrift deutlich und ohne Mühe erkannt wird, um aus den gefundenen Werthen die nothwendige Nummer der Brille durch Rechnung zu finden. Durch Uebung findet man leicht einen anderen kürzeren Weg.

Hat man nämlich mehrmals die oben bezeichneten Bestimmungen gemacht und aus ihnen die betreffenden Werthe der Brillennummern berechnet, so erlangt man allmälig genügende Erfahrung um ohne Rechnung die entsprechende Brillennummer ungefähr auswendig zu wissen, und man wird dann kaum je um mehr als 1—2 Nummern in der Brille fehlgreifen, nachdem man den ersten Versuch gemacht hat, (d. h. mit oder ohne eine beliebige Convexbrille die Entfernung bestimmt hat, in der das Auge ohne Mühe deutlich sieht).

Ist die Brillennummer, sei es durch directe Rechnung, sei es aus dem Gedächtniß gefunden, so muß jedenfalls ihre Brauchbarkeit erst verschiedenen practischen Prüfungen unterworfen werden. Diese Prüfungen beziehen sich auf das Bestimmen der Grenzen, innerhalb derer mit der Brille bequem gesehen wird — wobei man darauf zu sehen hat, daß dieselben den normalen möglichst genau entsprechen. Ferner ist zu prüfen ob in der entsprechenden Entfernung entsprechend kleine Gegenstände gesehen werden. Endlich ist noch darauf zu achten, ob in der normalen Entfernung die Brille die zu sehende Schrift merklich vergrößert. Wo das der Fall ist, ist sie zu stark gewählt. — Erst wenn nun die Brille mehrere Tage hinter einander ohne Beschwerde gebraucht worden ist, ist sie — unter den oben angegebenen Rücksichtnahmen — dauernd in Gebrauch zu ziehen. Es kommt häufig vor, daß mit zunehmendem Alter bei Weitsichtigen die Brille stärker gewählt werden muß.

Der Kurzsichtige.

Es kommt hier mehr auf die Bestimmung des Fernpunktes an — und zwar hier desjenigen der entweder ohne Anstrengung, oder der gerade noch erreicht werden kann. Man wird nun seine Untersuchung mit verschiedenen Objecten machen, je nachdem man diesen oder

jenen Zweck mit dem Concavglase verfolgt. Will man ein solches für musikalische Stunden haben, so wird man zweckmäßigerweise gleich den Fernpunkt an Noten oder an entsprechend großer Schrift bestimmen, und wird dann, nachdem man die Brillennummer berechnet, practisch versuchen, ob dieselbe für die Entfernung, für welche sie bestimmt ist, die richtigen Dienste bequem, ohne Anstrengung zu verursachen, ohne jedoch auch über diese Grenze hinaus zu gehen, leistet.

Um für größere Entfernungen die geeignete Brille auszusuchen, wird man den Fernpunkt des Auges zweckmäßig gleich an äußeren Gegenständen z. B. $1\frac{1}{2}$ — 2 bis 3" langen Buchstaben bestimmen.

Hier wird man im Allgemeinen wohl thun die äußerste Grenze als die der Rechnung zu Grunde zu legende Entfernung anzunehmen.

Hat man die für eine bestimmte größere Entfernung zu verwendende Brille berechnet, so geht man an die practische Prüfung der Brille selbst. Hier möge die für Concavbrillen im Allgemeinen geltende Regel ihren Platz finden, die *schwächste Nummer zu wählen, welche für die bestimmte Entfernung — mäßigen Ansprüchen — die betreffenden Gegenstände deutlich darstellt.*

Man wird also, wenn man gefunden, daß die berechnete Nummer für die gewünschte Entfernung ausreichend deutlich sehen läßt, doch immer noch die schwächere und die nächstschwächere Nummer versuchen, um zu sehen, ob durch diese sich nicht auch schon eine genügende Deutlichkeit erzielen läßt, in welchem Falle man sie natürlich vorziehen wird.

§. 108. Erscheinungen bei verschiedenen Augen.

Jedesmal wenn man eine Brille — Concav- oder Convexgläser—zu verabreichen hat, unterlasse man ja nicht

außer der gemeinsamen Prüfung beider Augen jedes Auge einzeln zu prüfen. Man stellt diese Prüfung, nachdem das andere Auge geschlossen ist, in derselben Weise an, wie oben von der gemeinsamen Prüfung gesagt ist, oder man bedient sich des Accommodationsgitters zu dieser Prüfung. Dieses Gitter besteht aus nahe nebeneinander vertical aufgestellten kleinen, dünnen, glatten Stäbchen von geschwärztem Messing, die an ihren Enden unter einander verbunden sind. Hält man diese Vorrichtung einer weißen Wand gegenüber, so heben sich die weißen Zwischenräume gegen die dunkeln Stäbe sehr scharf ab, sobald das Auge genau darauf eingerichtet ist; dagegen vermischen sich die weißen Zwischenräume augenblicklich, sobald das Auge nicht genau für die entsprechende Entfernung accommodirt ist. Das Instrument giebt recht genaue Resultate, so lange die Entfernung vom Auge nicht bedeutender wird; wo dann die Kleinheit des Gegenstandes hindernd auftritt.

Sind in den Brechungsverhältnissen des Auges geringe Verschiedenheiten vorhanden, so wählt man für beide Augen verschiedene Gläser.

Sind die Verschiedenheiten größer, so können sie durch Gläser nicht ausgeglichen werden. Es ist dann nothwendig ein Auge vorzugsweise zu beschäftigen.

Wenn das eine kurzsichtiger, das andere weitsichtiger (beide gesund) sind, so wird man jenes für nahe dieses für ferne Gegenstände gebrauchen lassen, wobei man das andere durch ein etwas blaugefärbtes Planglas ausschließen wird. — Man darf dann jedoch nie verabsäumen, das ausgeschlossene Auge mit dem entsprechenden Glase — durch Viertelstunden des Tages besondere Uebungen machen zu lassen, weil es sonst leicht schwachsichtig wird.

§. 109. Farbige Brillen.

Man hat zu verschiedenen Zwecken farbige Gläser, theils plane, oder uhrglasförmige Sammel- oder Zer-

streuungsgläser construirt. Die Farben, welche man ihnen gab, waren grün, grau und blau.

Der Hauptsache nach haben diese farbigen Gläser den Schutz gesunder oder kranker Augen vor blendendem Licht zum Zweck. Es sind deshalb heutzutage, wo man weiß, daß hauptsächlich die gelben und rothen Lichtstrahlen blenden, wohl nur noch blaue Gläser in Gebrauch. Man giebt dieselben je nach dem Bedürfniß in verschiedenen helleren und dunkleren Nüancen. — Es ist bei der Verabreichung dieser Brillen darauf zu sehen, daß sie einen möglichst großen Theil des Gesichtsfeldes verdecken, sie dürfen also nicht in ovaler Form gegeben werden.

Wir lernten schon oben noch einen anderen Zweck der farbigen Brillen kennen, den nämlich, ein Auge mehr oder weniger vom Sehen auszuschließen.

Endlich giebt es noch einen dritten Zweck, den man durch Färbung der Gläser zu erreichen sucht, der hauptsächlich bei stark gekrümmten Gläsern in Betracht kommt, nämlich die Farbenzerstreuung bei den prismatischen Hälften der starken Gläser zu verhüten. Man giebt deshalb sehr stark convexe oder sehr stark concave Brillen gern schwach gebläut.

§. 110. Künstliche Augen.

Um die optischen Gesetze, wie sie im Auge zur Geltung kommen, zu verdeutlichen, hat man ein künstliches Auge construirt. Dasselbe besteht in einer hölzernen Hülle von der Form des natürlichen Auges, welches in der Mitte cylindrisch durchbohrt ist, in einem Umfange, der verhältnißmäßig ungefähr dem Kreise der Hornhaut entspricht. An der einen Seite ist diese cylindrische Durchbohrung verschließbar durch eine mattgeschliffene Glasplatte; auf der anderen Seite ist ein Gestell einsetzbar, in welchem sich eine ziemlich starke Convexlinse — welche die brechenden Medien des Auges darstellt — durch eine

von außen regierbare Schraube vor- und rückwärts bewegen läßt. — Man hat diese Augen auch beweglich hergestellt, um den Mechanismus der Augenmuskelbewegungen an denselben möglichst bis in's Einzelne studiren zu können.

Es sind diese künstlichen Augen wohl zu unterscheiden von denjenigen, welche zum Ersatz entfernter menschlicher Augen aus rein cosmetischen Zwecken gebraucht werden. Es sind das ovale, concavconvexe und nur das vordere Dritttheil des Auges darstellende Schalen von Email, in deren Mitte vorn Glas eingegossen ist, in der Form, daß es die Hornhaut darstellen kann. Die hintere Fläche ist durch Glasmalerei der Iris des menschlichen Auges ähnlich gemacht.

§. 111. Tafel zur Berechnung der Brennweite der Brillen.

Es wird gewiß Vielen erwünscht sein, wenn sie eine Tabelle haben, mittelst welcher sie für jede gegebene abnorme Sehweite die Brennweite des erforderlichen Brillenglases leicht finden können. Die nachstehende Tabelle ist mehr als hinreichend. Sie ist eigentlich dreifach, das heißt: sie giebt die Brennweiten der Brillengläser bei drei verschiedenen Annahmen der normalen Sehweite. Zuerst ist die normale Sehweite = 8 Zoll angenommen, da aber die hiernach berechneten Brillengläser in der Regel etwas zu scharf ausfallen, so findet man auch die Brennweiten für die Voraussetzung, daß die gesunde Weite des deutlichen Sehens = 9 Zoll sei. Unter Zollen ist das Pariser Maß zu verstehen; weil aber auch oft anderes, kleineres Maß gebraucht wird, so findet man noch die Brennweiten der Brillengläser für 10 Zoll normale Sehweite angegeben. Die Tabelle ist sonst klar, und wir bemerken nur noch, daß die mit — bezeichneten Brennweiten Hohlgläser, die mit + bezeichneten aber Sammelgläser geben.

Tafel

der Brennweiten der Brillengläser für alle abnorme Sehweiten von 3 bis 50 Zoll, wenn die normale Sehweite 8, 9 oder 10 Zoll gesetzt wird.

Abnorme Sehweite	Brennweiten der Brillengläser für die normalen Sehweiten von		
	8 Zoll	9 Zoll	10 Zoll
Zoll	Zoll	Zoll	Zoll
3 • 0	— 4•8	— 4•5	— 4•3
3 • 5	— 6•2	— 5•7	— 5•4
4 • 0	— 8•0	— 7•2	— 6•7
4 • 5	— 10•3	— 9•0	— 8•2
5 • 0	— 13•3	— 11•2	— 10•0
5 • 5	— 17•6	— 14•1	— 12•2
6 • 0	— 24•0	— 18•0	— 15•0
6 • 5	— 34•7	— 23•4	— 18•6
7 • 0	— 56•0	— 31•5	— 23•3
7 • 5	—120•0	— 45•0	— 30•0
8 • 0	plan.	— 72•0	— 40•0
8 • 5	+136•0	—153•0	— 56•7
9 • 0	+ 72•0	plan.	— 90•0
9 • 5	+ 50•7	+171•0	—190•0
10 • 0	+ 40•0	+ 89•0	plan.
10 • 5	+ 33•6	+ 63•0	+210•0
11 • 0	+ 29•3	+ 49•5	+110•0
11 • 5	+ 26•3	+ 41•4	+ 76•7
12	+ 24•0	+ 36•0	+ 60•0
13	+ 20•8	+ 29•2	+ 43•3
14	+ 18•7	+ 25•2	+ 35•0
15	+ 17•1	+ 22•5	+ 30•0
16	+ 16•0	+ 20•6	+ 26•7
17	+ 15•1	+ 19•1	+ 24•3
18	+ 14•4	+ 18•0	+ 22•5
19	+ 13•8	+ 17•1	+ 21•1
20	+ 13•3	+ 16•4	+ 20•0
30	+ 10•9	+ 12•9	+ 15•0
40	+ 10•0	+ 11•6	+ 13•3
50	+ 9•5	+ 11•0	+ 12•5

§. 112. Augenspiegel.

Es ist nothwendig die optischen Grundlagen eines Instrumentes zu erörtern, welches heute von den Augenärzten benutzt wird um die tiefer liegenden Theile des Auges, Linse, Glaskörper, Netzhaut, Gefäßhaut zu untersuchen.

Derselbe ist von Helmholtz erfunden. — Dieser erörterte zunächst die Frage, woher es kommt, daß uns die Pupille schwarz erscheint, und fand die Antwort in dem Umstande, daß alle Lichtstrahlen, welche in's Auge fallen, in die Lichtquelle von den Häuten des Auges besonders der Netz- und Aderhaut reflectirt werden. Man würde demnach die Pupille erleuchtet sehen, wenn man sich mit seinem Auge in die Lichtquelle versetzen oder durch dasselbe (ohne geblendet zu werden) hindurch nach der betreffenden Pupille sehen könnte. Es kommt also darauf an, dieses Problem entweder auszuführen oder zu umgehen.

Es genau auszuführen ist unmöglich. Nahezu ausgeführt wird das Problem im folgenden Versuch. Man schiebt zwischen das Licht und sein Auge einen Schirm, so daß derselbe nur gerade das Licht verdeckt, und sieht an demselben vorbei in ein Auge, welches von dem Licht beleuchtet uns gerade ansieht. Dann sieht man die Pupille desselben — schwach — erleuchtet (Taf. XIX, Fig. 3). Die gegenwärtig construirten Augenspiegel umgehen, so zu sagen, jenes Problem. Eine seitlich stehende Lichtflamme D wird durch einen Spiegel (s s) in ein zu untersuchendes Auge (A) reflectirt, aus diesem wird es wieder reflectirt, so daß es wieder den Spiegel trifft. Von diesem aus geht es nun zum Theil auf seine Quelle (A) zurück; zum Theil aber trifft es in E ein Loch im Spiegel, durch welches es in seiner geraden Richtung fortgehend das untersuchende Auge B trifft. Linsen C und L concentriren noch das Licht. —

Die Spiegel selbst haben verschiedene Formen. Um die Beleuchtung zn vergrößern hat man dem Planspiegel

nämlich eine Convexlinse beigegeben, welche das Licht auf denselben reflectire, aber man hat den Spiegel gleich als Concavspiegel angewendet, oder man hat einen Convexspiegel mit einer beleuchtenden Convexlinse zur Erleuchtung des zu untersuchenden Auges benutzt. Diese Spiegel arbeitet man aus Metall, welches eine spiegelnde polirte, und eine mattgeschwärzte dem beobachtenden Auge zugekehrte Fläche hat und in der Mitte durchbohrt ist; oder man benutzt parallel geschliffene Glasplatten als Spiegel (deren man um die Polarisationsstörungen aufzuheben mehrere hintereinander legt), oder man benutzt gewöhnliche belegte Glasspiegel, an denen man die Folie an einer kleinen Stelle abkratzt, und die man hinten mit einer mattgeschliffenen, durchbohrten Metallplatte belegt.

Die Spiegel sind meist rund gearbeitet und mit einem Stiel versehen, der, wo eine Convexlinse zum Spiegel gehört, gleich diese trägt.

Die Oeffnung des Spiegels (d. h. die spiegelnde Fläche) hat verschiedenen Durchmesser.

Die Concavspiegel von Jäger, welche man benutzt, haben eine Brennweite von circa 13″ wenn man im aufrechten, von 7″ wenn man im umgekehrten Bilde untersuchen will.

Für die Verbindung des Convexspiegels mit der Convexlinse hat der Erfinder (Zehender) für den Convexspiegel einen Radius von 6″ festgesetzt. Die Convexlinse hat eine Brennweite von circa 3½″ und kann die Brennweite des ganzen Systems durch Entfernung oder Näherung der Linse an den Spiegel verschiedentlich verändert werden.

Der dem Planspiegel beigefügte Convexlinse (z. Coccius) giebt man meist eine Brennweite von circa 5″.

Endlich hat man auch die totale Reflexion des Lichtes in prismatisch geschliffenen Gläsern benutzt, um das Auge zu beleuchten und beleuchtet zu sehen (Meyerstein). Wenn man nun auch das Auge erleuchtet hat, so kann man in dessen Hintergrund doch noch nichts unterscheiden

weil die Lichtstrahlen, welche aus dem Auge kommen, nothwendig convergent sind, also aus überunendlicher Entfernung kommen. Für solches Licht können wir unsere Augen aber nicht einrichten. —

Wir besitzen zwei Mittel, um diese Lichtstrahlen für unser Auge brauchbar zu machen. Entweder wir zerstreuen sie durch ein Concavglas, oder wir begeben uns hinter ihren Vereinigungspunkt. Wir können uns diesen Vereinigungspunkt übrigens durch eine Convexlinse von beliebiger (verschiedener) Brennweite an beliebige, verschiedene Stellen hin verlegen.

Wenden wir ein gerade passendes Concavglas an, um den Augenhintergrund (Netzhaut und Choroidea) zu sehen, so sehen wir denselben aufrecht 12—20mal vergrößert (je nach der Brechkraft des Auges); wir müssen dann aus größerer Nähe (2″ Entfernung) vom untersuchten Auge unseren Spiegel halten.

Wenden wir ein Convexglas an, so sehen wir den Augengrund verkehrt; er ist dann verschieden vergrößert je nach der Stellung und Stärke des benutzten Glases. Man benutzt gewöhnlich ein Glas von $1\frac{3}{4}$—2″ Brennweite und hält es $\frac{3}{4}$—1″ vom untersuchten Auge. Man erhält dann ein 3—4fach vergrößertes Bild.

Man erkennt, wenn man geübt genug ist, die Gefäße der Netzhaut und Choroidea, krankhafte Ausschwitzungen und Trübungen in den brechenden Medien und kann also beurtheilen, ob diejenigen Krankheiten, welche man bis jetzt meist mit dem Namen des schwarzen Staares belegte, in Trübungen der Linse oder des Glaskörpers, in Krankheiten der Choroidea oder der Netzhaut oder endlich in Leiden des Sehnerven in seinem Verlauf, sei es in der Augen- sei es in der Schädelhöhle oder im Gehirn ihren Grund haben.

Wir lassen der Wichtigkeit des Gegenstandes wegen noch eine genauere Beschreibung des Augenspiegels folgen.

Formen der Augenspiegel.

§. 113. Augenspiegel von Helmholtz,

mit reflectirenden Glasplatten und Concavlinsen. Es ist dieser Augenspiegel auf (Taf. XVI, Fig. 7) im Querschnitt, ebenda (Fig. 8) von vorn gesehen dargestellt, mit einer Modification der ursprünglichen Form, welche von dem Mechanikus Recoß angebracht ist, nämlich mit zwei beweglichen Scheiben, welche die nöthigen Concavlinsen enthalten. Die drei reflectirenden Glasplatten sind mit a a bezeichnet, sie bilden die nach vorn gekehrte Hypotenusenfläche eines prismatischen Kastens, dessen Grundfläche ein rechtwinkeliges Dreieck ist, wie man im Querschnitte Fig. 7 sieht. Die übrigen Flächen dieses hohlen Prisma's sind aus Metallplatten gebildet und, um das Licht möglichst vollständig zu absorbiren, innen mit schwarzem Sammet ausgelegt. Die kleinere Kathetenfläche des Prisma's ist an dem Gestell des Augenspiegels so befestigt, daß sie sich um die optische Axe des Instrumentes drehen kann, und hat dieser Axe entsprechend eine Oeffnung. Die Glasplatten werden durch einen rechtwinkeligen Rahmen an dem prismatischen Kasten zurückgehalten; der Rahmen selbst ist durch zwei Schrauben e e an die dreiseitigen Grundflächen des Prisma's befestigt. Die Glasplatten bilden einen Winkel von 56° mit der optischen Axe des Instrumentes.

In das metallene Gestell des Instrumentes g g ist ferner eine Axe eingelassen, um welche sich zwei Scheiben b b und c c drehen. Jede dieser Scheiben hat fünf Oeffnungen. In je vieren sind Concavgläser von 6 bis 13 Zoll Brennweite eingesetzt, die fünfte ist leer.

Diese Oeffnungen können nach einander in die optische Axe des Instrumentes gebracht werden, so daß der Beobachter, welcher sein Auge an das beckenförmige Ocularstück B anlegt, durch sie und die Glasplatten a a hindurchsieht. In Fig. 7 ist die leere Oeffnung der

Scheibe b b und eine mit einer Linse versehene der Scheibe c c vorgeschoben. So kann der Beobachter eine beliebige von den acht Linsen oder zwei von ihnen gleichzeitig vor sein Auge bringen. Damit die Scheiben ihre Stellung nicht ohne Willen des Beobachters verändern, sind an ihrem Rande Grübchen angebracht, in welche sich die Enden zweier Federn h einlegen.

Für Beobachtungen mit Concavgläsern, also bei starker Vergrößerung, an Personen, deren Pupille nicht künstlich erweitert ist, und bei großer Empfindlichkeit des beobachteten Auges gegen Licht, findet H. unter den beweglichen Spiegeln diese erste Form des Augenspiegels aus den Gründen, welche wir oben bei der Theorie der Beleuchtung durch unbelegte Glasplatten angeführt haben, noch immer am vortheilhaftesten. Wenn ein gesundes Auge durch diesen Spiegel beobachtet wird, kann es die Erleuchtung Stunden lang, ohne geblendet zu werden, ertragen. H. selbst hatte oft 20 Studirenden hinter einander seine Netzhaut mit diesem Instrumente ohne Unbequemlichkeit gezeigt, während die Beleuchtung mit belegten Spiegeln nicht 5 Minuten ohne starke Blendung des Auges ertragen wird. Er zieht deshalb diesen Spiegel zu den meisten physiologischen Versuchen den anderen Formen vor. Für die augenärztlichen Untersuchungen dagegen wird ein größeres Gesichtsfeld und größere Helligkeit bei geringerer Vergrößerung meist vortheilhafter sein, und deshalb werden für dergleichen Beobachtungen meist belegte durchbohrte Spiegel mit Convexlinsen angewendet.

Will man den Spiegel gebrauchen, so setzt sich der Beobachter dicht vor den Beobachteten, und stellt an seiner Seite eine hell brennende Lampe auf. Ein undurchsichtiger Schirm wird so aufgestellt, daß er das Gesicht des Beobachters beschattet. Der Beobachter bringt zuerst den Spiegel, ohne hindurch zu sehen, ungefähr in die richtige Stellung vor das Gesicht des Beobachteten, und dreht ihn so, daß die Glasplatten ihren hellen Reflex auf das zu beobachtende Auge werfen. Dann blickt

er hindurch und erblickt nun die Netzhaut roth erleuchtet. Wenn er nicht sogleich sein Auge für die feineren Theile der Netzhaut accommodiren kann, dreht er mit dem Zeigefinger der Hand, welche das Instrument hält, eine der Scheiben, welche die Linsen enthält, bis er die passende Concavlinse gefunden hat.

Wenn die Beleuchtung der Netzhaut verschwindet, achte man nur auf den hellen Reflex der Glasplatten im Gesichte der Beobachteten und führe diesen wieder auf das Auge zurück.

§. 114. Augenspiegel von Ruete,

mit durchbohrtem Concavspiegel, auf Stativ dargestellt in Fig. 4, Taf. XIX. Auf einem runden Fuße von Holz ruht eine hohle Säule a, in deren Axencanale sich ein runder Stab b von Holz befindet, der hoch und niedrig geschoben und durch eine Feder, die sich am untern Ende desselben befindet, in jeder beliebigen Höhe festgestellt werden kann. Auf diesem Stabe sitzt ein Halbkreis von Messing c, der sich mit dem Stabe hoch und niedrig, rechts und links stellen läßt. In diesem Halbkreise ist ein in der Mitte durchbohrter Hohlspiegel d von etwa 3 Par. Zoll Durchmesser und von einer Brennweite von etwa 10 Par. Zoll durch Schrauben, die, je nach dem Bedürfnisse, gelüftet oder stärker angezogen werden können, so befestigt, daß er um seine Horizontalaxe gedreht werden kann. In der Mitte der Säule a befinden sich zwei hölzerne Ringe e und f, welche sich um die Säule drehen lassen. Jeder Ring trägt einen horizontal auslaufenden Arm g und h; der Arm g trägt einen geschwärzten Schirm, der einestheils dazu dient, um das Licht der Lampe vom Beobachter abzuhalten, anderntheils auch dazu, um, wenn es nöthig ist, das vom Spiegel in das beobachtete Auge fallende Licht abzuschwächen, was man dadurch bewirkt, daß man einen Theil des

Spiegels durch den Schirm beschattet. Der Arm h, welcher in 12 Zolle eingetheilt ist, trägt zwei verticale Säulen, i und k, die rück- und vorwärts geschoben werden können; in jeder verticalen Säule steckt ein am unteren Ende mit einer Feder versehener Stift von Messing l und m, den man auf- und abwärts schieben kann, und der durch die Feder in jeder Höhe, die man ihm giebt, festgehalten wird. Auf diese Stifte steckt man, je nach den Umständen, concave oder convexe Gläser, welche die aus dem beobachteten Auge zurückkehrenden Lichtstrahlen zu einem deutlichen Bilde für den Beobachter vereinigen. A ist der Beobachtete, B der Beobachter. Die Zeichnung ergiebt leicht das Uebrige.

Für die Beobachtungen mit Concavlinsen, die in der augenärztlichen Praxis allerdings wohl eine seltenere Anwendung finden, ist das Instrument nicht gut geeignet, weil sich die beiden Augen nicht hinreichend nähern können, und deshalb das Gesichtsfeld sehr klein wird. Für Beobachtungen mit Convexlinsen dagegen, die in klinischen Localen angestellt werden, erscheint das Instrument sehr bequem, namentlich, wenn man durch einen Assistenten den Kopf des Beobachteten so dirigiren läßt, daß seine Pupille in den Focus der Lichtstrahlen kommt; auch kann durch Anbringung einer zweiten convexen Ocularlinse (die dann aber wohl besser hinter dem Spiegel anzubringen wäre) eine Art kleinen Fernrohrs zusammengesetzt und eine stärkere Vergrößerung erreicht werden. Die Helligkeit des Instruments ist sehr groß, Gelegenheit, die Netzhautbilder zu beobachten, ist nicht gegeben.

§. 115. Epken's Augenspiegel,

mit durchbohrtem Planspiegel, auf Stativ, verändert durch Donders und van Trigt. Das ganze Instrument ist im Querschnitte dargestellt auf Taf. XVI, Fig. 9 und in einer Seitenansicht Fig. 2, Taf. XIII. Der Spiegel D, einzeln abgebildet in Fig. 3, Taf. XIII, ist eine

belegte Glasplatte, in deren Mitte der Beleg weggenommen ist, etwa in der Ausdehnung der Pupille; später hat Donders den Spiegel durchbohren lassen nach dem Vorgange von Coccius, um zu vermeiden, daß das in das Auge des Beobachters fallende Licht durch Reflexion geschwächt würde. Der Spiegel ist in einem würfelförmigen Kasten E E drehbar befestigt. Gedreht wird er mittelst des Knopfes F. Das zu beobachtende Auge wird an die Oeffnung des Kastens bei N angelegt, das des Beobachters bei O. Hier befindet sich eine solche Scheibe mit verschiedenen Linsen, wie die von Rekoß bei dem Augenspiegel von Helmholtz angebrachte. Donders wählt dazu drei positive mit 20, 8 und 4 Ctm. Brennweite, und drei negative mit 16, 10 und 6 Ctm.

Mit dem kubischen Kasten hatte Epkens eine konische Röhre verbunden, an deren Ende, wo jetzt das Mikrometer M sich befindet, eine Lampe angebracht war. An das Ende der Röhre kann, wenn es nöthig scheint, eine positive Linse angebracht werden, deren Brennpunkt wenig von der Flamme entfernt ist, so daß Jemandem, der in den Spiegel hineinsieht, die ganze Glaslinse leuchtend erscheint, und dadurch ein größerer Theil der Netzhaut beleuchtet wird. Der ganze Apparat, an dem Stabe A befestigt, kann an diesem auf und abbewegt werden. Bei K ist eine kreisförmige Scheibe befestigt, mit schwarzem Zeug bezogen, um das überflüssige Lampenlicht abzuhalten, und am unteren Theile des Instruments ist ein Stück Wachstaffet L L aufgehängt an der Stange Z, um das Gesicht des Beobachters von dem des Beobachteten zu trennen.

Da es aber schwierig war, kranke Personen immer zu richtigen Bewegungen ihres Auges zu bestimmen, wurde der Apparat von Donders und van Trigt noch beweglicher gemacht. Es wurde die Röhre in einem Ringe C drehbar gemacht; der Würfel E E kann um die Axe, welche durch die Schrauben b und c bestimmt wird, gedreht werden. Die Lampe wurde vom

Instrumente getrennt. Am Ende der Röhre G wurde ein Mikrometer angebracht. Die Spitzen des Mikrometers a und b werden im beobachteten Auge abgebildet, wenn dieses richtig accommodirt ist; deshalb wurde das Mikrometer verschiebbar gemacht, vermittelst der Röhre G, welche sich auf der Röhre B verschiebt. V ist die Mikrometerschraube, durch deren Umdrehung der Abstand der Spitzen geändert und gemessen wird. Ist n der Abstand der Spitzen a und b, x ihre Entfernung vom vorderen Knotenpunkte des beobachteten Auges, und 15 Millim. der Abstand des hinteren Knotenpunktes von der Netzhaut, so ist der Abstand der Spitzen im Retinabildchen y

$$y = \frac{n}{x} \times 15 \text{ Millim.}$$

Wenn man einen Zeichenapparat, wie man ihn bei Mikroskopen gebraucht, an der Oeffnung O anbringt und sowohl den Abstand der Spitzen als die Gefäße u. s. w. der Netzhaut nachzeichnet, kann man die wahre Größe der Gefäße und anderer Netzhauttheilchen bestimmen.

Später hat Donders noch für sehr kurzsichtige Augen ein zweites Mikrometer hinzugefügt, welches in die Röhre B eingeschoben wird. Außerdem hat er für die Beobachtung von Augen, deren Pupille durch Belladonna erweitert ist, für das Ende der Röhre B eine kegelförmige Erweiterung mit einer Sammellinse von größerer Apertur, als I hat, hinzugefügt, um ein größeres Feld im Auge zu beleuchten.

Dieser Spiegel ist namentlich für Untersuchung der Netzhaut mit Concavgläsern bestimmt. Er läßt sehr genaue und sichere Untersuchungen und Messungen der Netzhautbilder und der kleineren Theile des Augenhintergrundes zu, und ist leicht und bequem zu gebrauchen. Aehnlich construirt ist der tragbare Augenspiegel von Sämann. Man denke sich die Röhre des Spiegels von Epkens bis zu einem bloßen Ansatzstücke des Würfels verkürzt und das feste Gestell entfernt, statt der

Scheibe, welche die Linsen enthält, eine Fassung, in welche die Linsen einzeln eingelegt werden, so hat man Sämann's Augenspiegel.

§. 116. Portativer Augenspiegel von Coccius,

mit durchbohrtem, belegtem, ebenem Spiegel und einer Beleuchtungslinse. Abgebildet in Fig. 5, Taf. XIX. Das Instrument besteht aus einem kleinen viereckigen Planspiegel a von 14 Par. Lin. Seite. Die Oeffnung hat 2 Par. Linien Durchmesser, und ihr vorderer, dem beobachteten Auge zugekehrter Rand ist etwas abgeschliffen. Der Spiegel ist in eine dünne Messingplatte gefaßt, welche an ihrem unteren Ende in einen kleinen Fortsatz übergeht, der an der Stange b befestigt ist. Die Beleuchtungslinse hat 5 Zoll Brennweite; um sie aber auch mit anderen vertauschen zu können, ist sie in einen geschlitzten federnden Ring f eingesetzt, von der Stange g und dem geschlitzten Querbalken d getragen. Der letztere wird durch festes Anschrauben des Griffes e festgeklemmt, um die Stellung der Linse gegen den Spiegel zu sichern, welche man gewählt hat. Auseinander genommen, kann das Instrument in ein kleines Etui gelegt werden.

Coccius bringt, wie Ruete, die Concavgläser, wie die Convexgläser, zwischen Spiegel und Licht an. Da das Erstere wegen der Reflexe unvortheilhaft ist, hat man später mehrere Hohlgläser in einem Schieberchen oder einzeln in Ringen an der Rückseite des Spiegels angebracht.

Wegen seiner Beweglichkeit ist dieser Spiegel für ärztliche Zwecke sehr brauchbar; man kann sowohl, wie bei Ruetes, Spiegel mit Convexlinsen, als auch, wie bei Epkens, Spiegel mit Concavlinsen bequem untersuchen.

§. 117. Portativer Spiegel von Zehender,

mit durchbohrtem convexem Metallspiegel und Beleuchtungslinse, mit ähnlicher Fassung, wie der von Coccius. Im Wesentlichen unterscheidet sich das Instrument von dem letzteren nur dadurch, daß statt des ebenen Glasspiegels ein convexer Metallspiegel von 6 Zoll Radius angebracht ist. Indem man die convexe Linse dem convexen Spiegel näher oder ferner stellt, erhält man ein reflectirendes System von veränderlicher Brennweite, was man den Umständen anpassen kann. Ein wesentlicher Vortheil scheint noch in dem Umstande zu liegen, daß der Spiegel von Metall gefertigt ist, und daher der Rand des Sehlochs dünn, gut geschwärzt und ohne Licht reflectirende Unebenheiten ist. Vorher haben wir nachgewiesen, daß bei den Beobachtungen mit dem durchbohrten Spiegel und der Concavlinse zur Erlangung der größten Helligkeit nur die Hälfte des von einem Punkte der Netzhaut ausgehenden Strahlenbündels in das Auge des Beobachters fallen darf, falls nicht die Pupille des beobachteten Auges den mehr als doppelten Flächeninhalt von der des Beobachters hat. Der Beobachter wird daher in der Regel sich einen Theil seiner Pupille mit dem Rande der Oeffnung des Spiegels verdecken müssen, und einen Theil dieses Randes gerade vor dem Auge haben. Es ist daher vortheilhaft, an diesem Rande Alles zu vermeiden, was das Licht reflectiren könnte, und das ist bei Zehender's Metallspiegeln viel besser erreicht, als bei Coccius' Glasspiegeln.

§. 118. Prismenspiegel von Meyerstein.

Statt der metallischen Spiegel dient hierbei ein rechtwinkliges Prisma, dessen Hypothenusenfläche das

Licht zurückwirft. Der Beobachter sieht durch eine Durchbohrung des Prismas.

Später hat Meyerstein mit dem durchbohrten Prisma eine Beleuchtungslinse verbunden, und zwischen dem Auge des Beobachters und dem Prisma durch einen durchbohrten Spiegel ersetzt; auch scheint es, daß die Anwendung des Prismas eher Nachtheile, als irgend einen Vortheil mit sich brachte. Das Ganze hat eine Fassung, mittelst deren man es auf den Augenhöhlenrand des Beobachteten aufsetzen kann, und durch einen Arm mit zwei Gelenken ist auch ein Wachskerzchen mit dem Apparate verbunden, welches zur Beleuchtung dient.

Da das äußere Licht von dem beobachteten Auge ganz abgeschlossen wird, soll es auch in einem hellen Zimmer gebraucht werden können. Dadurch, daß man das Ocularglas des kleinen Fernrohrs heraus — oder hineinschiebt, kann man das optische System für Augen von jeder Sehweite passend machen.

§. 119. Augenspiegel von Ulrich.

Die wesentlichen Theile von Ruete's Augenspiegel sind in einer portativen Röhre angebracht, welche seitlich auch ein Licht zur Beleuchtung trägt.

Stereoskopie.

§. 120. Ueber Erscheinungen beim Sehen mit zwei Augen.

Nachdem wir im Vorhergehenden ausführlich über die Einrichtung des Auges gesprochen und die Richtigkeit des Gesagten auch durch Instrumente, deren richtige Anwendung nur jene Thatsachen stützen, mit bewiesen haben, sind wir jetzt zu der Erkenntniß gekommen, daß der Act des Sehens nur darauf beruht, daß die Affectionen der Nervenhaut auf eine uns noch nicht erklärbare Weise zum Bewußtsein kommen. Eigentlich sind es also die Schwingungen der Aetherteilchen, die zur Netzhaut getragen und zunächst durch die Anzahl der Wellen mit zum farbigen Sehen beitragen. Eigenthümliche Erscheinungen bieten sich nun beim Sehen mit zwei Augen, dem Binocularsehen, dar, und indem wir es für nothwendig halten, diesem Gegenstande einen größern Raum zu widmen, folgen wir den Originalabhandlungen des berühmten Charles Wheatstone, die schon deshalb mehr oder weniger ausführlich in alle Lehrbücher haben übergehen müssen, weil sie das Quellenstudium für binoculares Sehen und für die gesammten stereoskopischen Erscheinungen sind.

Wheatstone faßt seine Untersuchungen nun folgendermaßen zusammen:

Wenn ein Gegenstand in einer so großen Entfernung betrachtet wird, daß die auf denselben gerichteten Sehaxen beider Augen merklich parallel laufen, so sind die perspectivischen Ansichten desselben, welche man mit jedem Auge besonders wahrnimmt, sich gleich; der An-

blick ist daher für beide Augen genau derselbe, als wenn man den Gegenstand nur mit einem Auge sieht. In einem solchen Falle findet in der Gesichtswahrnehmung eines Gegenstandes, der über eine Fläche erhaben ist, Hochbild, Relief, und einer perspectivischen Zeichnung desselben auf einer ebenen Fläche kein Unterschied statt. Eine gemalte Darstellung von entfernten Gegenständen kann daher eine so vollkommene Aehnlichkeit von Objecten, die man zu repräsentiren beabsichtigte, darbieten, daß das Gemälde für den Originalgegenstand erkannt wird, wenn man nämlich Alles, was die Illusion hindern oder stören könnte, sorgfältig vermeidet; das Diorama liefert einen Beweis davon. Jene Gleichheit der objectiven Erscheinung für beide Augen verschwindet dagegen, sobald das Object den Augen so nahe gebracht wird, daß, um es deutlich zu sehen, die Sehaxen convergiren müssen. Unter diesen Umständen wird nämlich von jedem Auge eine verschiedene perspectivische Ansicht des Objects wahrgenommen, und diese Verschiedenheit wird um so größer, je mehr die Convergenz der Sehaxen zunimmt. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen in mäßiger Entfernung vor die Augen gestellten Gegenstand von drei Dimensionen, einen Würfel z. B., mit jedem Auge abwechselnd betrachtet, indem nämlich das andere geschlossen und der Kopf unbewegt in derselben Stellung gehalten wird. Fig 12, Tafel **XXI** stellt die beiden Perspectivansichten eines Würfels vor, a ist die mit dem rechten und b die mit dem linken Auge gesehene; angenommen, daß der Würfel ungefähr 7 Zoll und gerade vor dem Beobachter sich befinde.

Diese Erscheinungen, welche durch dieses einfache Experiment so unverkennbar sind, lassen sich nach den fortgesetzten Regeln der Perspective leicht erklären; denn ein Object in Relief, wenn man es mit jedem Auge für sich allein ansieht, wird von zwei Gesichtspunkten aus betrachtet, die so weit auseinander liegen, als die zwischen beiden Augen gezogene gerade Linie beträgt. Gleich-

wohl scheinen sie der Aufmerksamkeit eines jeden Physiologen und Künstlers, welcher über das Sehen und die Perspective gehandelt hat, entgangen zu sein. Das Nichtbeachten eines Phänomens, welches zu den wichtigen und interessanten Folgen führen mußte, die den Gegenstand der vorliegenden Abhandlung bilden, kann man nur dem Umstande zuschreiben, daß das Endresultat einer Untersuchung desselben einem Grundsatze widerspricht, der von den Autoren, welche über den Gesichtssinn geschrieben haben, ganz allgemein behauptet wird, nämlich: daß die Objecte nur einfach gesehen würden, wenn die Bilder auf entsprechende Punkte beider Retinen fallen; eine Hypothese, welche später erörtert werden wird. Wenn ihnen jene Beobachtung auch einmal aufstieß, so verließen sie dieselbe augenblicklich, in der Ueberzeugung, daß, wenn auch die Nervenhautbilder unter gewissen Umständen in beiden Augen verschieden wären, diese Verschiedenheit doch nur so gering sein könne, daß man nicht nöthig habe, sie in Anschlag zu bringen. Es wird uns nun einleuchtend werden, warum es unmöglich ist, daß ein Maler eine treue Darstellung eines nahen Gegenstandes von körperlicher Ausdehnung geben kann, d. h. ein Gemälde, das von dem Originalgegenstande selbst nicht zu unterscheiden wäre.

Wird das Gemälde und der Gegenstand, mit beiden Augen betrachtet, so sind die von dem Gemälde auf die beiden Nervenhäute projicirten Bilder einander ähnlich, die von dem wirklichen Gegenstande sind dagegen einander unähnlich. Es findet daher in diesen beiden Fällen ein wesentlicher Unterschied zwischen den auf die Organe der Gesichtsempfindung gemachten Eindrücken und folglich auch zwischen den Gesichtsvorstellungen statt, und daher ist es unmöglich, das Gemälde mit dem Originalgegenstande von körperlicher Ausdehnung zu verwechseln.

Nachdem wir die Werke vieler Autoren, von denen sich die Behandlung dieses Gegenstandes erwarten ließ, durchgesehen hatten, konnten wir nur eine einzige Bemer-

kung darüber auffinden, nämlich in dem Trattato della Pittura des Leonardo da Vinci. Dieser große Künstler und geistreiche Philosoph bemerkt, „daß ein Gemälde, wenn es auch in Hinsicht der Zeichnung des Lichts und des Schattens, sowie auch der Farben mit der größten Kunst ausgeführt und mit der höchsten Vollkommenheit vollendet wäre, doch niemals Erhabenheiten und Vertiefungen, oder ein Relief im Grade, wie ein natürlicher Gegenstand zeigen könne, außer es würde in einer gewissen Entfernung und nur mit einem Auge betrachtet. Denn," sagt er, „wenn ein Object C (Taf. XX, Fig. 1) von A aus mit einem Auge betrachtet wird, so sind diesem Auge alle diejenigen Gegenstände nicht sichtbar, welche der Raum hinter dem Objecte gleichsam einschließt, den der von einem in A sich befindlichen Lichte geworfene Schatten umschreibt; wird aber das andere Auge in B geöffnet, so sieht dieses einen Theil von jenen Gegenständen; es bleiben daher beiden Augen nur noch diejenigen verborgen, welche von dem doppelten Schatten CD, geworfen von zwei Lichtern in A und B und endend in D, eingeschlossen sind, und der dreiseitige Raum FDG über D hinaus ist dann für beide Augen stets sichtbar. Je kleiner das Object C, und je näher es sich den Augen befindet, um so kürzer ist der von dem doppelten Schatten beschriebene Raum. Auf diese Weise wird das von beiden Augen gesehene Object C gleichsam durchsichtig; denn ein durchsichtiger Körper ist nach der gewöhnlichen Definition derjenige, welcher das, was hinter ihm liegt, nicht verbirgt. Dieses findet jedoch nie statt, wenn ein Object, dessen Breite größer ist, als die Pupille, nur mit einem Auge allein betrachtet wird. Die Wahrheit jener Behauptung ist daher in die Augen springend, denn ein gemalter Gegenstand verbirgt den ganzen Raum hinter dem von ihm eingenommenen sichtbaren Orte, so daß die Augen jeden Theil des eingebildeten Grundes hinter dem Gemälde zu sehen verhindert sind."

Hätte Leonardo da Vinci für das Experiment eine weniger einfache Figur benutzt, anstatt der Kugel einen Würfel z. B., so würde er nicht nur bemerkt haben, daß das Object jedem Auge einen verschiedenen Theil des entfernten Sehfeldes verbirgt, sondern es würde seiner Aufmerksamkeit auch vielleicht diese Beobachtung nicht entgangen sein, daß das Object jedem Auge eine verschiedene Ansicht darbietet. Er ermangelte dies zu thun, und meines Wissens hat kein späterer Autor das Unterlassene nachgeholt.

Der Satz, daß bei dem Sehen eines einfachen Objectes, mit convergirenden Seharen zwei merklich unähnliche Bilder auf die beiden Nervenhäute projicirt werden, ist daher in der Theorie des Sehens als neu zu betrachten.

§. 121. Ueber zwei Perspectiv-Ansichten, mit zwei Augen gesehen.

Nachdem nun in dem vorhergehenden Paragraphen festgesetzt worden ist, daß die Seele ein Object von drei Dimensionen mittelst zwei verschiedener Nervenhautbilder wahrnimmt, so entsteht die Frage: was möchte wohl der Erfolg sein, wenn anstatt des Objects selbst die Projectionen seines Bildes auf eine ebene Fläche, welche genau so nachgezeichnet wären, als sie einem Auge allein erscheinen müssen, gleichzeitig jedem Auge dargeboten würden. Um hierüber eine genaue Untersuchung anzustellen, ist es nöthig, auf Mittel zu denken, durch welche die Abbildung der beiden Zeichnungen, welche nothwendiger Weise verschiedene Plätze einnehmen müssen, auf gleichen Theilen der beiden Nervenhäute geschieht. Bei dem gewöhnlichen Sehen wird das Object an dem Kreuzungspunkte der Seharen wahrgenommen; die Bilder werden daher auf gleiche Theile der Nervenhäute projicirt; es ist aber auch einleuchtend, daß zwei vollkommen gleiche Objecte ihre Bilder auf gleiche Theile der beiden

Retinen projiciren können, wenn sie in die Richtung der Sehaxen und in gleiche Entfernungen vor oder hinter dem Kreuzungspunkte derselben gebracht werden.

Taf. XX, Fig. 2 stellt die gewöhnliche Lage eines Objects an dem Kreuzungspunkte der Sehaxen dar. In Fig. 3 befinden sich die gleichen Objecte in der Richtung der Sehaxen vor ihrem Kreuzungspunkte, und in Fig. 4 hinter demselben. In allen drei Fällen wird nur ein einziges Object wahrgenommen und an die Stelle gesetzt, wo die Sehaxen zusammentreffen. Man wird bemerken, daß, wenn die Sehaxen sich hinter den Objecten vereinigen, wie in Fig. 3, das Object der rechten Seite von dem rechten Auge und das der linken Seite von dem linken Auge gesehen wird, und wenn sich die Sehaxen vor dem Objecte kreuzen, daß das rechte Object von dem linken Auge und das linke von dem rechten wahrgenommen wird. Da die letzten beiden Arten erzwungen und unnatürlich sind, so verlangen die Augen, welche an solche Experimente nicht gewöhnt sind, einige künstliche Unterstützung. Die Kreuzung der Sehaxen hinter den Objecten kann mittelst zweier Röhren (Fig. 5) zu Stande gebracht werden, welche sich bewegen und in eine verschiedene Neigung gegen einander stellen lassen, so daß ihre Richtung mit der verschiedenen Convergenz der Sehaxen übereinstimmt.

Um die Sehaxen vor den Objecten sich kreuzen zu machen, wird am besten ein Kasten (Fig. 6) angewendet. Die Objecte a a' liegen neben einander auf einer beweglichen, den Augen nach Erforderniß näher zu bringenden Unterlage, indem sie nun durch die Oeffnung des Kastens b b' betrachtet werden, so kreuzen sich die Sehaxen in C, und das Object der rechten Seite projicirt sein Bild nach dem linken und das der linken Seite nach dem rechten Auge. Das Zusammenfallen der Bilder kann übrigens dadurch erleichtert werden, daß man eine in dem Kreuzungspunkte der Sehaxen C angebrachte Nadelspitze mit den Augen fixirt. Durch diese beiden In-

strumente sind die (Fig. 5 und Fig. 6) seitlichen Gegenstände dem Blicke entzogen und die Vereinigung der Bilder ist daher weniger schwer als mit bloßen Augen und ohne künstliche Unterstützung.

Werden nun anstatt der beiden vollkommen gleichen Objecte von körperlicher Ausdehnung zwei gezeichnete Perspectivansichten desselben Objectes in einer der angegebenen Art und Weise betrachtet, so wird zwar das Object als ein einfaches gesehen, jedoch keineswegs als eine Darstellung auf einer ebenen Fläche, wie jede der beiden Zeichnungen erscheint, wenn sie nur mit einem Auge abwechselnd betrachtet wird, sondern der Beobachter nimmt vielmehr eine Figur von drei Dimensionen wahr, das genaue Gegenstück des Objectes, nach welchem die Zeichnungen gemacht wurden. Zur Erläuterung dieses Gegenstandes will ich jetzt nur einige der einfachsten Fälle angeben. Wenn zwei verticale Linien nahe neben einander, jedoch in verschiedener Entfernung von den Augen, abwechselnd mit jedem Auge allein betrachtet werden, so wird ihr Abstand von einander in ein und derselben Ebene verschieden erscheinen; ist nämlich die Linie der linken Seite den Augen näher, so wird bei der Betrachtung mit dem linken Auge die Entfernung beider Linien von einander geringer sein, als die ist, welche das rechte Auge wahrnimmt. Fig. 7 macht dies klarer; a a′ sind horizontale Durchschnitte von zwei verticalen Linien, und b b′ die eingebildete Ebene für die verschiedenen Entfernungen der Linien. — Werden diese beiden Linien in derselben Entfernung von einander, als sie in der Ebene erscheinen, auf jede von zwei Karten gezogen, und nur in einer der oben angegebenen Art betrachtet, so sieht der Beobachter die beiden Linien nicht in einer ebenen Fläche, wie sie auf jeder Karte einem Auge allein erscheinen; sondern er wird beobachten, daß die eine Linie ihm näher ist als die andere, genau in demselben Verhältnisse, als es die Originallinien selbst waren. Ferner, wenn ein gerades Stück Draht, das in einer solchen Stellung vor die Augen gehalten wird, daß

das eine Ende ihnen näher ist als das andere, mit jedem Auge besonders betrachtet wird, so erscheint dasselbe im Verhältniß zu einer senkrechten Ebene jedem Auge in einer verschiedenen Neigung. Wird nun eine Linie in derselben scheinbaren Neigung auf zwei Karten gezogen, und werden diese Karten in der angegebenen Weise betrachtet, so gewahrt man die Linie genau in derselben geneigten Stellung, in welcher sich das Stück Draht befand.

Auf diese Weise können die complicirtesten Figuren von drei Dimensionen aufs Genaueste wahrgenommen werden, indem man nämlich zwei gezeichnete Perspectiv-Ansichten von dem Gegenstande beiden Augen darbietet. Ehe wir nun zu vollkommenen Experimenten dieser Art übergehen, werden wir ein Instrument beschreiben, welches uns in den Stand setzt, alle in Rede stehende Phänomene mit der größten Leichtigkeit und Genauigkeit zu beobachten.

Durch die beiden schon beschriebenen Instrumente werden die Seharen genöthigt, sich entweder vor oder hinter der Ebene zu kreuzen, in welcher sich die Objecte befinden. Der Accommodationszustand des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen, welcher nach dem Grade der Convergenz der Seharen sich fortwährend ändert, paßt sich aber jener ungewöhnlichen Art und Weise des Sehens nicht sogleich entsprechend an, und es lassen sich daher die Bilder der Objecte von an solche Experimente ungewöhnte Augen in dem Convergenzpunkte nicht sogleich vereinigen, oder sie erscheinen matt und undeutlich. Ueberdies läßt sich mit den angegebenen Instrumenten kein Object betrachten, dessen Breite größer ist, als die Entfernung der beiden Seharenpunkte von einander, in welche die Mitte der Objecte gestellt wird.

Alle diese Unannehmlichkeiten werden durch das unten zu beschreibende Instrument ganz entfernt; die beiden Zeichnungen (oder vielmehr die Reflexe davon) befinden sich hier in dem wahren Kreuzungspunkte der Seharen,

die Accomodation der Augen bleibt in einem unveränderlichen Zustande, jede Störung durch seitliche Gegenstände wird vermieden, und es bietet sich jedem Auge ein großes Sehfeld dar. Da dieses Instrument in der Folge oft erwähnt werden muß, so wird es bequemer sein, ihm einen eigenen Namen zu geben, und W. schlug daher vor, dasselbe Stereoskop zu nennen, die Eigenthümlichkeit andeutend, solide Figuren darzustellen.

§. 122. Ueber die Construction von Wheatstone's Stereoskop.

Fig. 8 und 9 sind Abbildungen des Stereoskops; die erste ist eine Ansicht von vorn, die zweite von oben. AA' sind zwei ebene Spiegel von ungefähr 4 Q.-Zoll, in Rahmen gefaßt und so aufgestellt, daß ihre Rückseiten einen Winkel von 90° bilden. Wo sich diese beiden Spiegel berühren, sind sie auf einen gemeinschaftlichen Fuß B, oder vielmehr, was in der Zeichnung weniger gut dargestellt werden konnte, gegen die Mitte eines verticalen Brettchens befestigt, welches an jeder Seite so viel ausgeschnitten ist, daß die unmittelbar vor dasselbe gebrachten Augen die Spiegel bequem sehen können. DD' sind zwei aufrecht stehende Laden, welche auf zwei gegeneinander schiebbare Bretter CC' befestigt, auf diese Weise in verschiedenen Entfernungen von den Spiegeln gestellt werden können. In den meisten nachfolgenden Experimenten ist es nöthig, daß jeder Laden in gleicher Entfernung von dem gegenüberstehenden Spiegel sich befinde. Diesen Zweck zu erreichen, hat W. eine rechts und links geschnittene Schraube r l angewendet, deren Enden durch die an den unteren Theilen der Laden DD' angebrachten Muttern e e' gehen, so daß, wenn der Schraubenkopf p nach der einen Seite gedreht wird, die Laden sich nähern, und wenn nach der andern Seite, sich entfernen. Beide Laden sind auf diese Weise immer gleich weit von der Mittellinie f entfernt. E E' sind zwei

Schieber, die in an den Laden angebrachten Falzen rück- und vorwärts bewegt, und an welchen die Zeichnungen so befestigt werden können, daß die sich entsprechenden horizontalen Linien derselben in einer wagerechten Fläche liegen.

Nachdem nun das Instrument beschrieben, ist noch Einiges über dessen Gebrauch zu sagen. Der Beobachter muß die Augen den Spiegeln so nahe als möglich bringen, das rechte Auge vor den rechten Spiegel und das linke Auge vor den linken Spiegel. Jetzt muß er die seitlichen Schieber EE′ so lange vor- oder rückwärts bewegen, bis die beiden Reflexe mit den Sehaxen zusammenfallen und ein Bild darstellen, dessen scheinbare Größe den Zeichnungen entspricht. Die Reflexe werden zwar schon zusammenfallen, wenn die Schieber hin und her bewegt, und folglich die Zeichnungen wie unter einem verschiedenen Sehwinkel betrachtet werden; allein es giebt nur eine einzige Stellung der Zeichnungen, wo man die doppelten Reflexe derselben als ein einziges Bild von der wahren Größe und ohne Anstrengung der Augen erkennt, weil nur in dieser das gewöhnliche Größenverhältniß der Nervenhautbilder, die für diesen Fall richtige Neigung der Sehaxen, und der gewöhnliche Accomodationszustand der Augen für das deutliche Sehen in die Ferne stattfindet. Die durch die Störung dieser gewöhnlichen Verhältnisse hervorgebrachte Veränderung in der scheinbaren Größe der beiden reflectirten Bilder wird nebst mehreren anderen daraus hervorgehenden und sehr merkwürdigen Phänomenen in einem andern Theile dieser Beiträge besprochen werden. Bei allen in der gegenwärtigen Abhandlung erwähnten Experimenten nehmen wir an, daß jene gewöhnlichen Verhältnisse nicht gestört seien, und daß die Sehaxen ungefähr 6 — 8 Zoll vor den Augen sich kreuzen.

Werden die Zeichnungen so angefertigt, daß sie alle für ein und dieselbe Neigung der Sehaxen sich eignen, so läßt sich das Instrument in so fern vereinfachen, daß die Laden DD′ mit Weglassung der Schraube rl in ei-

ner bestimmten Entfernung von den Spiegeln befestigt werden. Die Schieber können ebenfalls weggelassen und die Zeichnungen selbst in den an den Laden angebrachten Falzen hin und her bewegt werden.

§. 123. Ueber stereoskopische Zeichnungen.

Fig. 10 bis 20, Taf. XXI stellen paarige Contourzeichnungen dar, welche berechnet sind, die Wahrnehmung eines Objectes von drei Dimensionen zu bewirken, wenn sie auf die angegebene Weise in das Stereoskop gebracht worden. Sie sind hier nur halb so groß, als die wirklich angewendeten Figuren. Da die Zeichnungen durch die Reflexion in den Spiegeln umgekehrt werden, so nehmen wir an, daß diese Figuren nicht die Reflexe, sondern die Zeichnungen selbst sind, welche in das Stereoskop gestellt werden; die mit b bezeichnete gehört auf die rechte Seite des Instruments, um von dem gegenüberstehenden Spiegel nach dem rechten Auge reflectirt zu werden; die mit a ist für die linke Seite. Jedes Paar Zeichnungen, ist wie schon bemerkt, zwei verschiedene Ansichten von einem und demselben, jedoch von zwei Gesichtspunkten aus betrachteten Objecte, deren Entfernung von einander mit dem Zwischenraume der beiden Augen gleich ist, welchen man zu $2\frac{1}{2}$ Zoll annehmen kann.

Fig. 10 a und b wird, in dem Stereoskop betrachtet, als eine Linie in einer verticalen Ebene wahrgenommen, und zwar in einer solchen Neigung, daß ihr unteres Ende dem Beobachter näher ist.

Werden die beiden Zeichnungen gleichmäßig und in entgegengesetzter Richtung um ihren Mittelpunkt gedreht, so wird die reflectirte Linie, während sie jeden Grad der Neigung im Verhältniß zu der Ebene einzunehmen scheint, dennoch in derselben verticalen Ebene bleiben.

Fig. 11. Eine Reihe von Punkten, alle in derselben horizontalen Ebene, aber jeder von der linken nach

der rechten Seite zu dem Beobachter etwas näher stehend.

Fig. 12. Eine gekrümmte Linie mit ihrer Convexität nach dem Beobachter gerichtet, und mit ihren beiden Enden die verticale Ebene gleichsam durch- oder einschneidend.

Fig. 13. Ein Würfel.

Fig. 14. Ein Kegel, dessen Axe winkelrecht auf die verticale Ebene steht, und dessen Spitze nach dem Beobachter sieht.

Fig. 15. Ein Abschnitt einer viereckigen Pyramide, die Axe winkelrecht auf der Ebene, die Basis vom Auge weggewendet.

Fig. 16. Zwei Kreise in verschiedener Entfernung von den Augen, mit ihren Mittelpunkten in demselben Perpendikel und den Umriß eines Kegelabschnittes bildend.

Die übrigen Figuren bedürfen keiner weitern Erklärung.

Wir haben zu diesen Experimenten nur Contourzeichnungen angewendet, denn wären die Figuren schattirt oder colorirt, so könnte man leicht glauben, daß der Effect entweder ganz oder wenigstens zum Theil hiervon abhinge, da hingegen bei Weglassung der Schatten und der Farbe kein Zweifel stattfinden kann, daß der Effect des Reliefs allein durch die gleichzeitige Wahrnehmung zweier Nervenhautbilder hervorgebracht wird. Will man aber eine recht treue Erscheinung des wirklichen Objects haben, so können Farben und Schattirungen angewendet werden, um den Effect zu erhöhen.

Der Künstler muß aber die beiden Bilder mit der größten Sorgfalt und Aufmerksamkeit zeichnen, schattiren und malen, wenn der Beobachter in der Wahrnehmung der reflectirten Bilder eine vollkommene Identität mit dem wirklichen Originalobjecte erkennen soll. Blumen, Krystalle, Büsten, Vasen, Instrumente von verschiedener Art u. s. w. lassen sich auf diese Weise so täu-

schend darstellen, daß sie von den reellen Objecten selbst durch das Gesicht nicht zu unterscheiden sind.

Es ist der Bemerkung werth, daß das Verfahren, durch welches wir hier mit der wahren Form eines Objectes von drei Dimensionen bekannt wurden, genau dasselbe ist, welches in der darstellenden Geometrie angewendet wird; eine Wissenschaft von Wichtigkeit, welche wir dem talentvollen Monge verdanken, die aber in England nur wenig studirt wird und überhaupt wenig bekannt ist.

In dieser Wissenschaft wird die Lage eines Punktes, einer geraden Linie, oder einer Curve und folglich jeder andern Figur dadurch vollkommen bestimmt, daß die Projection derselben auf zwei feststehende Ebenen gezeichnet wird, deren Lagen bekannt, jedoch niemals parallel sind. Bei der Aufgabe der darstellenden Geometrie nimmt man gewöhnlich an, daß die beiden Ebenen einen rechten Winkel mit einander bilden, bei dem gewöhnlichen Sehen mit beiden Augen ist aber die Neigung dieser Ebenen in demselben Verhältnisse geringer, als der von den Seharen an ihrem Kreuzungspunkte gebildete Winkel geringer ist. Es bildet sich folglich die Gesichtsvorstellung von einem soliden Objecte durch zwei verschiedene Ansichten desselben, wovon jedem Auge eine angehört, und die den verschiedenen Entfernungen dieser Ansichten von den Augen entsprechen; die Wahrnehmung dieser Verschiedenheit mag (obschon wir uns dessen nicht bewußt zu sein scheinen) zur Schätzung der Entfernung des Objects beitragen. Jemehr die auf einander Bezug habenden Ebenen geneigt sind, mit um so größerer Genauigkeit bezieht sich jeder projicirte Punkt der Ebenen auf seinen wahren Ort; und es scheint daher eine nützliche Natureinrichtung zu sein, daß auf diese Weise die wahre Gestalt von uns nähern Objecten bestimmter erkannt wird, als von entfernteren.

§. 124. Ueber die Umkehrung des Reliefs im Stereoskop.

Einen sehr sonderbaren Effect hat die Verwechslung der Zeichnungen, d. h., wenn die in dem Stereoskope für das rechte Auge bestimmte, auf die linke Seite desselben, und die der linken auf die rechte Seite gestellt wird. Man gewahrt dann ebenfalls eine Figur von drei Dimensionen und in demselben deutlichen Relief, aber ihre Form ist von der verschieden, welche beobachtet wurde, als die Zeichnungen an ihrem richtigen Platze waren; da diese Figur eine gewisse Verwandtschaft zu der wahren Figur hat, so werden wir sie die umgekehrte nennen. Dieselben Theile, welche in der wahren Figur dem Beobachter die näheren waren, sind in der umgekehrten die entfernten und vice versa, so daß die Figur wie umgekehrt erscheint, obschon es keine genaue Inversion ist, denn die nähern Theile der umgekehrten Figur erscheinen kleiner und die entfernten größer, als vor der Verwandlung. Diejenigen Zeichnungen, welche, wenn sie sich an ihrem richtigen Platze befinden, einen Würfel wahrnehmen lassen, stellen nach der Verwechslung den Abschnitt einer viereckigen Pyramide dar, deren Basis von den Augen abgewendet ist; die Ursache dieser Verwandlung ist leicht einzusehen.

Diese Umkehrung des Reliefs findet mit allen jenen paarigen Zeichnungen von Fig. 10 bis Fig. 19 statt. In allen Fällen, wo solche einfache Zeichnungen wie diese angewendet werden, wird die umgekehrte Figur mit derselben Leichtigkeit und Schnelligkeit wahrgenommen, als die wahre, weil jene ebenfalls gewöhnliche Gegenstände vorstellen; werden aber zusammengesetztere Figuren zu dem Experimente benutzt, z. B. die Zeichnung eines Gebäudes, so kann man in derselben keine Bedeutung finden, weil wir nämlich mit einem Gegenstande, der aus der Umkehrung eines solchen Objects hervor-

geht, ganz unbekannt sind, indem er in der Natur nie vorkommt.

§. 125. Verwechslungen zweier Zeichnungen und zweier reellen Objecte.

Es ist klar, daß die Nervenhautbilder sich gleich sind, wenn wir einen Gegenstand von drei Dimensionen oder seine Projection auf einer ebenen Fläche betrachten, vorausgesetzt, daß der Punkt, von welchem aus sie beleuchtet werden, in beiden Fällen derselbe ist. Es darf daher kein Unterschied in der objectiven Erscheinung stattfinden, wenn den Augen entweder zwei Zeichnungen, eine für jedes Auge, oder zwei reelle Gegenstände so dargeboten werden, daß sich die Nervenhautbilder in beiden Fällen gleich sind. Die nächsten Experimente werden die Richtigkeit dieser Folgerung beweisen.

Man besorge sich mehrere paarige Figuren von drei Dimensionen, welche entweder aus Eisendraht oder aus ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll dicken Ebenholzleistchen gefertigt sind und nur die Umrisse oder ein Gerippe der Figur darstellen. Am besten bediene man sich zweier Würfel von drei Cubikzoll Durchmesser. Wenn man diese Figuren vor die beiden Spiegel des Stereoskopes stellt, so beobachtet man den folgenden Effect, je nachdem man die relative Stellung derselben ändert. 1) Wenn man sie so stellte, daß die Reflexe in den Spiegeln solche Nervenhautbilder hervorbrachten, die denen gleich waren, welche ein in dem Kreuzungspunkt der Sehaxen sich befindlicher Würfel erzeugt haben würde, so war die objective Gesichtserscheinung ein Würfel in Relief. 2) Stellte man sie so, daß in beiden Augen zwei einander vollkommen gleiche Nervenhautbilder entstanden, so war der Effect von Relief gänzlich vernichtet, und die objective Erscheinung war nichts anderes, als eine Contourdarstellung in einer ebenen Fläche. 3) Gab man ihnen eine solche Stellung, daß dasselbe Bild, welches in dem ersten Falle

von dem Reflexe der einen Figur auf die Retina des linken Auges projicirt worden war, nun auf der des rechten Auges hervorgerufen wurde und vice versa, so erschien die umgekehrte Figur des Würfels im Relief.

§. 126. Verwandlung einer flachen Figur in eine von drei Dimensionen.

Wenn ein symmetrisches Object, das heißt ein solches, dessen rechte und linke Seite einander vollkommen gleich, jedoch umgekehrt sind, so gestellt wird, daß jeder Punkt einer Ebene, welche es in zwei Hälften theilt, gleichweit von den Augen entfernt ist, so ist die Ansicht desselben, welche sich dem einen Auge darstellt, natürlich ein Facsimile von der, welche sich dem andern darbietet. Fig. 15 a und b sind solche symmetrische Ansichten von einem Abschnitte einer vierseitigen Pyramide und Fig. 13, 14 und 16 sind sich entsprechende Ansichten von andern symmetrischen Objecten. Dies im Auge behaltend, werde wir nun ein Experiment beschreiben, welches, hätte man es zufällig vor der Bekanntschaft mit den Grundsätzen dieser Abhandlung beobachtet, gewiß für eine unerklärliche optische Illusion gehalten wäre.

M und M', Fig. 21, sind zwei so gestellte Spiegel, daß ihre vorderen Flächen einen Würfel von 90° bilden. Ist eine flache Figur, z. B. wie Fig. 15 a, von Eisendraht oder einer so ausgeschnittenen Karte gefertigt, daß nur die Form der Figur zurückbleibt. Wird nun diese Figur in die Mittellinie A zwischen beide Spiegel gestellt, so werden die Reflexe dieser Figur hinter den Spiegeln in B und B' erscheinen, und der eine ist das umgekehrte Bild des andern. Es ist klar, daß, wenn sich die Sehaxen in C kreuzen, diese beiden reflectirten Bilder auf correspondirende Theile der beiden Nervenhäute fallen, und die Erscheinung ist eine Figur von drei Dimensionen; wird der Gegenstand in A umgewendet, so sieht man die umgekehrte Figur in räumlicher

Ausdehnung. Beide Experimente zeigen das sonderbare Phänomen der Verwandlung einer flachen Figur in eine von drei Dimensionen. Um die objective Erscheinung recht deutlich zu machen, kann man sich concaver Linsen bedienen, und um die beiden seitlichen Bilder den Augen zu verbergen, kann man in der Richtung von D und D' zwei Schirme anbringen.

§. 127. Binocularsehen auf Metallflächen.

Der Effect der Perspective wird auch in einem mit beiden Augen betrachteten Teller von Metall beobachtet, dessen Oberfläche durch Drehen auf einer Drehbank polirt worden ist. Nähert man ihn nämlich einer Lichtflamme, so tritt aus ihm gleichsam eine Lichtlinie heraus, deren eine Hälfte über und die andere unter seiner Oberfläche sich zu befinden scheint. Die Richtung und Neigung dieser Linie ändert sich mit der Stellung des Lichts und mit der des Beobachters, aber immer durchschneidet sie den Mittelpunkt des Tellers. Schließt man das linke Auge, so verschwindet das Hervorstehen der Lichtlinie, und sie fällt mit dem Diameter des Tellers zusammen; öffnet man aber beide Augen, so tritt auch die Linie sogleich aus der ebenen Fläche hervor. Dieser Fall entspricht jedem Experimente im Stereoskope mit Fig. 10, wo jedem Auge eine etwas geneigte Linie zur Ansicht dargeboten wird. Es ist sonderbar, daß eine Erscheinung wie diese, die unzählige Mal geschehen wird, die Aufmerksamkeit eines naturforschenden Auges nicht auf sich gezogen und hinreichend gefesselt hat. Diese Beobachtung war eine der ersten, die W. auf den Gegenstand hinleitete, welchen wir hier behandeln.

Dr. Smith befand sich in einem Falle einer mit zwei Augen gesehenen Perspective sehr in Verlegenheit, ohne ihn erklären zu können. Er hielt einen geöffneten und bei dem Kopfe gefaßten Zirkel so vor die Augen, daß die Spitzen desselben gleichweit von den Augen ent-

fernt und nach außen gerichtet sich etwas höher befanden, als der Zirkelkopf; indem er nun nach einem entfernten Gegenstande sah, erschien ihm der Zirkel doppelt. Er drückte nun die Schenkel des Zirkels so weit zusammen, daß sich die beiden inneren Spitzen vereinigten, wobei sich die beiden inneren Schenkel ebenfalls vereinigten und den von den äußern Schenkeln gebildeten Winkel durchschnitten, und jetzt beobachtete er die vereinigten innern Schenkel nicht nur dicker und länger als vorher, sondern sie erstreckten sich sogar von der Wand bis zu einem in der weitesten Ferne gesehenen Gegenstande. Die Erklärung, welche Dr. Schmith darüber giebt, bezieht sich nur auf das Zusammenfallen der Zirkelspitzen, aber nicht auf das der ganzen Schenkel.

Der Effect ist am deutlichsten, wenn man das Experiment mit zwei geraden Stücken Draht von ungefähr 1 Fuß Länge anstellt. Eine ähnliche Beobachtung machte Dr. Wels mit zwei flachen Linealen, und später mit seidenen Fäden, sie erschien ihm aber durch alle schon vorhandenen Theorieen so unerklärlich, daß er sich veranlaßt fühlte, eine neue Theorie über die Richtung des Sehens vorzuschlagen, welche sie erklären sollte.

§. 128. Bildung eines Körpers im Stereoskop bei Einäugigen.

Aus allen den vorhergehenden Experimenten geht deutlich hervor, daß ein wesentlicher Unterschied in der Erscheinung der Objecte stattfindet, wenn sie mit beiden oder nur mit einem Auge betrachtet werden, und daß durch die gleichzeitige Wahrnehmung zweier verschiedener Perspectivansichten die lebhafteste Ueberzeugung von der Solidität eines Objects von drei Dimensionen in der Seele hervorgerufen wird. Wie kommt es aber, wird man fragen, daß Personen, die nur mit einem Auge sehen, sich doch richtige Begriffe von soliden Objecten bilden und sie nie mit Bildern verwechseln?

Und wie kommt es ebenfalls, daß solche, die ein vo kommen gutes Gesicht auf beiden Augen besitzen, kein Unterschied in den Objecten wahrnehmen, wenn sie Auge schließen?

Um diese scheinbare Schwierigkeit zu heben, m man berücksichtigen, daß, obschon das gleichzeitige Sel zweier ungleicher Ansichten eines Objects die Wahrn mung desselben in Relief auf das Lebhafteste veranl doch noch andere Umstände und Zeichen zur Bildung Gesichtsvorstellungen mit beitragen, welche zwar zr deutiger als jene, doch aber weniger geeignet sind, Urtheil im Verhältnisse zu unseren früheren Erfahrun irre zu leiten.

Die durch die beiden ungleichen Nervenhautbi hervorgebrachte Deutlichkeit des Reliefs wird um so ringer, je mehr das Object von den Augen entfernt und verliert sich endlich ganz, wenn die Sehaxen w rend der Betrachtung fast parallel sind. Ueber diese fernung hinaus sehen wir mit beiden Augen alle jecte genau in demselben Verhältnisse, als wir ein na Object mit einem Auge sehen; denn die beiden Ner hautbilder sind sich dann vollkommen gleich, und Seele vernimmt daher keinen Unterschied, es mögen indentische Bilder auf correspondirende Theile beider tinen oder nur eines dieser Bilder auf die Retina e Auges fallen. Wer daher des Sehvermögens auf ei Auge beraubt ist, sieht alle Gegenstände der Außenw nahe oder ferne, ganz in dem Verhältnisse, als ein derer mit beiden Augen nur die entfernten sieht. lebhaften Effect, welcher durch das Sehen, der na Gegenstände mit beiden Augen entsteht, kann der nie beobachten, und um diesem Mangel abzuhe nimmt er, ohne es zu wissen, zu andern Mitteln Zuflucht, welche das genauere Erkennen der Objecte terstützen. Die Bewegung des Kopfes ist das Ha hülfsmittel dieser Art. Daß das nöthige Erkennen e Objectes hierdurch erlangt werden kann, wird aus Folgenden klar werden. Mit der Vorstellung eines

lichen Objects verbindet die Seele auch verschiedene Ansichten desselben, welche sie aus der bisherigen Erfahrung entnommen hat. Eine einzige Ansicht konnte zweideutig sein, indem sie vielleicht nur einer bloßen Zeichnung oder einem übrigens ganz verschiedenen Objecte angehören mochte; treten dagegen mehrere verschiedene Ansichten nach und nach vor die Seele, so können sie nicht alle auf ein anderes Object bezogen werden, als auf das, dem sie sämmtlich angehören, und auf diese Weise erhält der Gegenstand seinen vollkommenen Character. Nimmt man nun an, daß das Object feststehe, so wird es bei jeder Bewegung des Kopfes von einem andern Gesichtspuncte aus betrachtet, und das Nervenhautbild verändert sich folglich fortwährend. Es ist eine bekannte Sache, daß der Effect der Perspective eines Gemäldes durch die Betrachtung desselben mit einem Auge bedeutend erhöht wird, besonders wenn man es durch eine Röhre ansieht, um die seitlichen Gegenstände auszuschließen, welche die Illusion vielleicht stören könnten. Das Sehen findet unter solchen Verhältnissen von dem zweckmäßigen Gesichtspuncte aus statt, und die Umrisse, Schatten und Farben des Gemäldes werden auf dieselbe Weise auf die Retina projicirt, als dies geschehen würde, wenn man den hier bildlich dargestellten Gegenstand als einen in der Natur reell vorkommenden aus einer gewissen Ferne betrachtete; überdies sind alle Umstände, die uns von der Gegenwart eines Gemäldes überzeugen könnten, entfernt, und der Thätigkeit der Einbildung freies Spiel gelassen. Diesen offenbaren Vorzug der Betrachtung eines Gemäldes mit einem Auge haben einige der ältern Autoren irriger Weise einer Concentration der Sehkraft in diesem Auge zugeschrieben. Es giebt eine wohlbekannte und sehr auffallende Illusion der Perspective, welche im Vorbeigehen bemerkt zu werden verdient, weil die Ursache davon nicht allgemein verstanden zu sein scheint. Das von einem Gebäude auf eine horizontale Ebene projicirte Bild, welches bei einer großen Neigung der Richtungslinie des Sehens beobachtet und so nach-

gezeichnet wird, erscheint einem Auge, das sich in dem Gesichtspunkte befindet, von welchem aus die Perspective den Gebäudes aufgenommen wurde, im auffallend deutlichen Relief; die Illusion ist hier fast so vollkommen als in den Experimenten, welche früher beschrieben worden sind. Dieser Effect entsteht nur durch die ungewöhnliche Projection des Bildes, welche mehr geeignet ist, die Vorstellung von dem Objecte selbst, als die von der Zeichnung hervorzurufen; denn wir sind gewohnt, reelle Gegenstände fast von jedem Gesichtspunkte aus zu sehen, und, da Perspectivdarstellungen gewöhnlich auf einer senkrechten Ebene und für eine auf diese Ebene rechtwinkeligen Richtungslinie des Sehens gefertigt werden, so sind wir mit auf eine andere Art dargestellten Ansichten weniger vertraut.

Die Darstellung eines Objects, welche nach irgend einer ungewöhnlichen Projection gezeichnet wurde, hat ganz denselben Effect.

§. 129. Ueber die unwillkürliche Veränderung der Lage eines Körpers.

Wenn wir mit einem Auge die Zeichnung von einer soliden geometrischen Figur betrachten, so kann man sich dieselbe als eine Darstellung von zwei unähnlichen soliden Figuren denken, einmal als die Figur, welche wir darzustellen beabsichtigen, und dann als die umgekehrte. — Ist die erste eine oft und die zweite eine seltner vorkommende Figur, so verweilt die Einbildung bei jener, ohne auf diese überzugehen; kommen aber beide in der Natur gleich oft vor, was mit einfachen Formen gewöhnlich der Fall ist, so tritt ein sonderbares Phänomen ein, es wird nämlich bald die eine und bald die andere Figur deutlich gesehen und erkannt, aber es steht nicht in der Willenskraft des Beobachters, während er die eine sieht, diese mit der andern sogleich zu wechseln.

Dasselbe Phänomen tritt ein, wenn die Zeichnung mit beiden Augen betrachtet wird. Man erinnere sich hier des sonderbaren Effects einiger von jenen Figuren, die den Problemen des elften Buches von Euclides beigefügt sind. Werden sie scharf angesehen, so verändert sich die Form der soliden Figur abwechselnd und unabhängig von der Willenskraft; es bleibt z. B. die umgekehrte Figur fortwährend vor den Augen, wenn man auch noch so sehr wünscht, die wahre allein zu sehen. Obgleich schon diese Illusion oft vorkommt, so haben wir doch nur eine einzige schriftliche Beobachtung darüber aufgefunden, nämlich vom Professor Necker in Genf, welche wir aus dem Philosophical Magazine, dritte Reihe, Bd. I, S. 337 in seinen eigenen Worten hier aufführen wollen. W. fügt hinzu:

„Der Gegenstand, auf den ich nun die Aufmerksamkeit meiner Leser zu lenken habe, ist eine Beobachtung, die mir bei der Betrachtung von Kupferstichen oder Abbildungen von Krystallisationsformen oft vorkam, ich meine die plötzliche und unwillkürliche Veränderung in der augenscheinlichen Lage eines Krystalles, oder eines andern bildlich dargestellten soliden Körpers. Was ich eigentlich meine, wird durch die beigefügte Figur klarer verstanden werden (Fig. 22). Das Rhomboeder AX ist in einer solchen Stellung gezeichnet, daß die Fläche A den Augen näher und X entfernter, daß ACDB eine vordere und XDC eine hintere Fläche desselben ist. Betrachtet man diese Figur zu wiederholten Malen, so beobachtet man die augenscheinlische Lage des Rhombus bisweilen so verändert, daß die Ecke X den Augen näher und A entfernter, daß die Fläche ACDB die hintere und XDC die vordere zu sein scheint, wodurch eine der frühern ganz entgegengesetzte scheinbare Neigung des Rhomboeders entsteht."

Professor Necker schreibt diese Veränderung der Figur nicht der Thätigkeit der Seele, sondern einer unwillfürlichen Veränderung in dem Accommodationszustande des Auges für das deutliche Sehen zu. Er nimmt an, daß, wenn

der am schärfsten empfindende Punkt der Retina auf den Winkel A z. B. gerichtet ist; dieser Winkel, indem er deutlicher gesehen werde als die übrigen, natürlich auch für näher und für die vordern gehalten werden müssen, während die andern weniger deutlich gesehenen Winkel für entfernter und für die hintern genommen werden, und daß das Umgekehrte statt finde, wenn der Punkt des deutlichen Sehens auf den Winkel X gerichtet wird.

Daß dies aber nicht die wahre Erklärung sei, läßt sich aus den drei folgenden Gründen ersehen:

1) Da die beiden Punkte A und X in einer und derselben Entfernung von den Augen sind, so würde der einmal angenommene Accommodationszustand des Auges für das deutliche Sehen des einen Punktes, zugleich auch für den andern passen; 2) wird ganz derselbe Wechsel der Figur stattfinden, es mag sich das Auge für eine kürzere oder längere Sehweite einrichten, als die Entfernung der Zeichnung von dem Auge ist; und 3) tritt der Wechsel oft ein, während das Auge ein und denselben Winkel anhaltend fixirt. Der Effect scheint allein von der geistigen Beschauung abzuhängen, ob uns nämlich die Vorstellung von der wahren oder umgekehrten Figur mehr gegenwärtig ist. Wird der Umriß einer von beiden Figuren mit dem Auge verfolgt, und dabei die klare Idee dieser Figur festgehalten, so können wir sie auch für längere Zeit fixiren; es verlangt aber dies, so wie die willkürliche Veränderung der Figur einige Uebung. Der Effect von Versuchen dieser Art ist, wie schon früher bemerkt, weit auffallender, wenn die Figur nur mit einem Auge betrachtet wird.

Eine solche Illusion kann nicht eintreten, wenn ein Object von drei Dimensionen und unter einem merklichen Sehwinkel mit beiden Augen betrachtet wird, weil dann die ungleichen Nervenhautbilder beider Augen jede Möglichkeit der Täuschung verhindern. Wird dagegen ein Object in einer solchen Entfernung gesehen, daß die beiden Nervenhautbilder fast identisch sind, und läßt dieses dann gleichsam einfache Bild überdies eine dop-

pelte Auslegung zu, so kann eine Illusion dieser Art wohl vorkommen. Auf diese Weise kann eine an einem Brette befestigte und auf einer Stange erhöhte in der Straße herumgetragene Bekanntmachung, wenn sie aus der Ferne und gerade in einer etwas geneigten Stellung gesehen wird, oft in der entgegengesetzten Neigung erscheinen. Es ließen sich hier eine Menge ähnlicher Fälle anführen, dieser mag jedoch genügen, um an andere zu erinnern; übrigens muß bemerkt werden, daß, wenn Schattirungen oder andere das Urtheil zu bestimmen geeignete Umstände gegenwärtig sind, diese Täuschungen nicht vorkommen.

§. 130. Ueber die mit einem Auge betrachteten Objecte in Relief.

Dieselbe Unbestimmtheit des Urtheils, welche in einer Zeichnung zwei verschiedene Figuren abwechselnd wahrnehmen läßt, giebt oft Veranlassung zu einer unrichtigen Vorstellung der mit einem Auge betrachteten Objecte in Relief. Die scheinbare Umkehrung eines Hochbildes, einer Gemme, in ein vertieftes Bild, und eines vertieft geschnittenen Steines in eine Gemme ist eine wohlbekannte Gesichtstäuschung. Aber es scheint uns weder die über diese Erscheinung gegebene Erklärung richtig, noch die Bedingungen, unter welchen diese Umkehrung eintritt, genau bestimmt zu sein.

Diese sonderbare Illusion, welcher man viel Aufmerksamkeit geschenkt hat, wurde zuerst bei einer der früheren Versammlungen der Royal Society beobachtet. Mehrere Mitglieder dieser Gesellschaft betrachteten durch ein zusammengesetztes Mikroskop das Gepräge einer neuen Goldmünze, einige sahen es vertieft und andere erhöht, wie es wirklich war.

Professor Gmelin in Württemberg publicirte eine Abhandlung über diesen Gegenstand in den Philosophi-

cal Transactions Jahrgang 1745. Er bediente sich zu den Experimenten Teleskope und zusammengesetzter Mikroskope, welche die Umkehrung veranlaßten, bemerkt aber, daß die Umkehrung des Reliefs nicht in allen Fällen, nicht zu jeder Zeit und nicht allen Augen erscheine. Er bemühte sich einige der Bedingungen dieser Erscheinung aufzusuchen: „aber warum das so geschieht, sagt er, maße ich mir nicht an zu bestimmen.“

Sir David Brewster erklärt diese Illusion auf folgende Weise:

„Ein vertieft geschnittenes Petschaft sei von einem Fenster oder Licht beleuchtet; der Schatten wird dann natürlich an der Seite sein, wo das Licht herkommt. Wird nun das Petschaft durch eine oder mehrere Linsen umgekehrt, so daß das gravirte Bild nach der entgegengesetzten Seite sieht, so wird auch der Schatten desselben an der dem Fenster entgegengesetzten Seite gesehen. Da wir aber wissen, daß das Fenster an unserer linken Seite ist und daß ein Gegenstand, wo sich der Schatten an der, von dem Lichte am meisten entfernten Seite befindet, nothwendiger Weise ein convexer oder erhöhter sein muß, so halten wir daher augenblicklich dafür, daß das vertiefte Bild des Petschaftes ein Basrelief sei.

Der Beweis von einem Hochbilde des Petschaftes, welchen uns der Gesichtssinn auf diese Weise liefert, überwiegt hier die Kenntniß von dem Vertieftsein desselben, welche wir durch die genauere Untersuchung mittelst des Tastsinnes erlangt hatten. Die Täuschung wird in diesem Experimente dadurch verursacht, daß wir von der wahren Richtung, in welcher das Petschaft beleuchtet wird, überzeugt sind; denn wäre das Bild nicht allein umgekehrt, sondern auch das Fenster auf die entgegengesetzte Seite gesetzt worden, so hätte die Gesichtstäuschung nicht stattgefunden. Es ist daher diese Illusion unserer Ansicht nach das Resultat der Thätigkeit der Urtheilskraft, welche hier durch die Kenntniß geleitet wird, die wir von Licht und Schatten in Beziehung auf die Form der Körper erlangt haben.“

Diese Ansicht erklärt das Phänomen nicht vollkommen, denn sie nimmt an, daß das Object umgekehrt und in einer gewissen Richtung beleuchtet sein muß; allein die Umkehrung des Reliefs tritt ebenfalls ein, wenn das Object durch eine offene Röhre und ohne Linse, welche es umkehrt, betrachtet wird und wenn alle Theile desselben gleichmäßig beleuchtet sind. Die wahre Erklärung, wahrscheinlich, ist folgende: Denken wir uns einen Stein mit einem erhöht und einen zweiten mit einem vertieft geschnittenen Bilde von einem und demselben Gegenstande, so daß die Vertiefungen des einen den Erhöhungen des andern genau entsprechen, so ist es leicht einzusehen, daß die Nervenhautbilder von beiden Steinen dieselben sein müssen. Werden die Steine mit beiden Augen betrachtet, so ist es unmöglich, das erhöhte Bild mit dem vertieften zu verwechseln, aus Gründen, die schon früher hinreichend erörtert worden sind; werden sie dagegen nur mit einem Auge betrachtet, so fehlt der Urtheilskraft ihre zuverlässige Richtschnur, nämlich die Darstellung eines verschiedenen Bildes auf der Retina jedes Auges; die Einbildungskraft ersetzt nun den Mangel derselben, und wir sehen daher das Bild des Objectes erhöht oder vertieft, gerade wie sie es uns vorstellt und angiebt. Ohne Zweifel haben in diesen Fällen noch andere hinzukommende Umstände auf das Urtheil einen Einfluß, und das Hochbild oder auch das vertiefte mag bisweilen der vorausgehenden Kenntniß von der Richtung, in welcher der Schatten unserer Meinung nach fallen müsse, entsprechend erscheinen; die wahre Ursache des Phänomens ist jedoch nur in der Unbestimmtheit des Urtheilens zu suchen, welche aus der Abwesenheit des für die Urtheilskraft sicheren Anhaltungspunktes hervorgeht.

Wer mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigt ist, muß gegen Täuschungen dieser Art auf seiner Hut sein.

Raspail sagt, daß die hohle, pyramidale Krystallisationsform von Kochsalz, durch ein Mikroskop be-

trachtet, als eine gestreifte Pyramide in Relief ersche
er empfiehlt zwei Methoden, die Täuschung zu
richtigen. Die erste besteht darin, daß man nach
nach die verschiedenen Theile des Krystalles in den
cus des Instrumentes bringen soll; ist die Pyramid
Relief, so wird die Spitze derselben in dem Focus
her erscheinen als die Basis; ist sie aber vertieft,
findet das Gegentheil statt. Die zweite ist, daß r
auf den sich im Sehfelde des Mikroskopes befindli
Krystall ein starkes Licht fallen läßt und nun
obachtet, welche Seiten der Pyramide beleuchtet si
wird hierzu ein zusammengesetztes Mikroskop benutzt,
muß die Umkehrung des Objectes mit in Anschlag
bracht werden.

Die Umkehrung des Reliefs ist höchst auffalle
wenn das Skelett eines Würfels nur mit einem A
betrachtet wird, wobei sich folgender Effect zeigt.
lange man die wahre Form des Würfels wahrnim
so wird, wie man ihn auch immer drehen und wen
mag, die dadurch veranlaßte Verschiedenheit der Ersch
nung doch nichts anderes, als seine verschiedene Ansi
eines und desselben Gegenstandes sein; dies findet a
nicht statt, wenn die Aufmerksamkeit von der umgeke
ten Figur gefesselt wird, dann hat die Reihe der a
einander folgenden Ansichten keine Beziehung auf irge
einen Gegenstand, welcher alle diese Ansichten darbiet
könnte, und daher wird die Figur eine fortwähren
Veränderung der Form erleiden,

§. 131. Die physiologische Verbindung co respondirender Punkte beider Retinen ex stirt nicht.

W. hatte bisher hinreichende Beweise geliefert, da
Objecte, deren Bilder nicht auf correspondirende Punk
der beiden Retinen fallen, dennoch einfach gesehen we
den, es folgt nun dagegen ein Experiment, welches b

weist, daß gleiche Bilder, welche auf correspondirende Nervenhautpunkte fallen, doppelt und an verschiedenen Orten erscheinen.

Wird dem rechten Auge eine verticale und dem linken eine von der Senkrechtheit etwas abweichende Linie (Fig. 23) in dem Stereoskope dargeboten, so sieht man, wie früher gezeigt, eine Linie, deren Extremitäten sich in verschiedenen Entfernungen vor den Augen zu befinden scheinen. Es werde nun auf das Blatt für das linke Auge in der Mitte der schon vorhandenen und geneigten Linie eine schwächere und verticale gezogen, welche der auf dem Blatte für das rechte Auge befindlichen Linie in Stellung und Länge genau entspricht. Betrachtet man jetzt die beiden Blätter im Stereoskope, so werden die beiden stärkern Linien, von denen jede mit einem Auge gesehen wird, sich decken und die daraus resultirende einfache Linie wird in derselben Perspective Linie erscheinen, als es vorher der Fall war; die schwache Linie aber, welche auf Nervenhautpunkte des linken Auges fällt, welche mit denen des rechten correspondiren, auf welchen sich die starke verticale Linie darstellt, erscheint an einem verschiedenen Orte. Sie nimmt nämlich den Ort ein, wo sich die Ebene der Richtung des Sehens für das linke Auge, in welchem sich die schwache Linie darstellt, mit der Ebene der Richtung des Sehens für das rechte Auge, welches die starke Linie enthält, durchschneidet.

Dieses Experiment liefert zugleich noch den Beweis, daß die als nothwendig angenommene physiologische Verbindung correspondirender Punkte beider Retinen gar nicht existirt. — Eine Lehre, die von so vielen Autoren behauptet und vertheidigt worden ist.

§. 132. Phänomen, wenn die Nervenhautbilder beider Augen von verschiedener Größe sind.

Wir wollen jetzt den Effect aufsuchen, welcher hervorgeht, wenn Bilder von gleicher Form, aber von

verschiedener Größe sich auf analogen Theilen der Nervenhäute darstellen. Für diesen Zweck zeichne man zwei Vierecke oder Kreise, deren Größe merklich, jedoch nicht übermäßig verschieden ist, auf zwei Karten und stelle dies so in das Stereoskop, daß die Reflexe gleichweit von den beobachtenden Augen entfernt zu sein scheinen. Man wird nun beobachten, daß ungeachtet der Verschiedenheit der Zeichnungen die beiden Bilder sich doch vereinigen und eine einfache Gesichtsvorstellung verursachen. Die Grenze der Größenverschiedenheit, innerhalb welcher die einfache Erscheinung überhaupt vorkommen kann, läßt sich durch die Anwendung zweier Zeichnungen von gleicher Größe ermitteln, indem nämlich die eine fortwährend in derselben Entfernung vom Auge bleibt, während die andere so bewegt wird, daß das reflectirte Bild derselben vom Auge zurücktritt; dies geschieht, wenn man die Schraube aus dem Instrumente entfernt und nun den einen horizontalen Schieber C (Fig. 8) etwas herauszieht, ohne den andern zu verrücken.

Das Einfacherscheinen zweier Bilder von verschiedener Größe wird durch dieses Experiment vollkommen bewiesen, ja der Beobachter ist selbst nicht im Stande wahrzunehmen, welcher Unterschied zwischen der scheinbaren Größe des aus beiden Reflexen resultirenden Bildes und der Größe jedes nur nach einem Auge reflectirten Bildes stattfindet.

Um hierüber zu entscheiden, muß das Stereoskop verlassen und das Experiment auf eine solche Weise gemacht werden, daß alle drei Bilder zugleich gesehen werden, was auf folgende Art geschieht. Die beiden Zeichnungen werden in einer Ebene nebeneinander und gerade vor die Augen gelegt, die Sehaxen müssen sich entweder vor ihnen wie in Fig. 4 oder hinter ihnen, wie in Fig. 3 kreuzen, so daß drei Bilder zu gleicher Zeit gesehen werden, das Bild beider Augen in der Mitte, und das jedes Auges an den Seiten. Auf diese Weise überzeugt man sich, daß das mit beiden Augen gesehene Bild offenbar die mittlere Größe von den bei-

den seitlichen Bildern hat, die mit jedem Auge allein gesehen werden.

Ist die Größe der Zeichnungen zu ungleich, so findet die Vereinigung der Bilder nicht statt. Es scheint, daß sie sich niemals vereinigen, wenn die Ungleichheit der Zeichnungen größer ist, als die Verschiedenheit der beiden Nervenhautbilder von einem Objecte, welches in möglichst seitlicher Richtung betrachtet wird, d. h. wenn die Augen nach rechts oder links so weit als möglich, ohne ihnen doch Gewalt anzuthun, gewendet sind.

Würden sich die beiden Nervenhautbilder von verschiedener Größe nicht vereinigen, könnte jedes Object nur dann einfach gesehen werden, wenn sich die Sehachsen gerade vor den Augen d. h. in der Mitte des Sehfeldes kreuzen — denn nur dann kann die Größe der Nervenhautbilder beider Augen vollkommen gleich sein, wenn die beiden convergirenden Sehachsen zur Basis des Sehwinkels (eine zwischen den Mittelpunkten beider Augen gezogene gerade Linie) gleiche Neigung haben als in Fig. 2 ist diese Neigung dagegen im Verhältniß zur Basis verschieden, als in Fig. 24, so ist auch die Entfernung des Objectes für jedes Auge eine verschiedene, und die Nervenhautbilder beider Augen müssen folglich eine verschiedene Größe haben. Hält man ein Geldstück in der Richtung A (Fig. 24) und läßt die Sehachsen in dem nähern Punkte C sich kreuzen, so erscheint es doppelt, und das mit dem linken Auge gesehene ist offenbar kleiner als das andere.

§. 133. Phänomene, wenn Objecte von verschiedener Form sich auf correspondirenden Theilen der beiden Nervenhautbilder abbilden.

Wenn wir irgend ein Object mit dem rechten Auge allein für längere Zeit betrachten, so wird es ununterbrochen wahrgenommen; sehen wir mit dem linken

Auge ein anderes, aber ungleiches Object an, so wird es ebenfalls permanent wahrgenommen; man sollte daher erwarten, daß, wenn die beiden Objecte, d. h. jedem Auge eins, zur gleichen Zeit dargeboten werden, die Nervenhautbilder beider Augen sich permanent gleichsam denken müßten. Allein dies ist gegen die Erwartung nicht der Fall.

Wird (Fig. 25) a dem einen und (b) dem andern Auge gleichzeitig zur Ansicht dargeboten, so bleibt der gemeinschaftliche Kreis unverändert, so daß bald der mit dem rechten, bald der mit dem linken Auge allein gesehene gewahrt wird.

Wenn der Wechsel beginnt, so bricht der Buchstabe, welcher eben wahrgenommen wurde, in mehrere Stücke; mit diesem vermengen sich Theile des andern, welcher eben im Begriff ist zu erscheinen, und sogleich nachher ist auch der zweite Buchstabe zusammengesetzt und vollkommen gebildet. Zu bestimmen, welcher der Buchstaben hervorkommen soll, scheint nicht in der Willenskraft zu liegen, wohl aber die Ausdauer der Erscheinung von Ursachen abzuhängen, die wir willkürlich bestimmen können. Sind nämlich die beiden Figuren gleich stark beleuchtet, so wechseln sie gewöhnlich in gleichen Zeiträumen; ist dagegen die eine mehr beleuchtet als die andere, so wird die weniger helle auch kürzere Zeit gesehen. Diese Experimente sind gewöhnlich mit dem Apparate (Fig. 6) angestellt. Werden mehr zusammengesetzte Figuren in dem Stereoskope betrachtet, so verändern sich die einzelnen Theile derselben verschieden.

Mit dem in Rede stehenden Gegenstande hängen noch einige andere innig zusammen, welche schon oft in Betrachtung gezogen worden sind. Wir meinen die zuerst von Du Tour angestellten Experimente, wo zwei verschiedene Farben an correspondirende Theile der beiden Retinen fallen. Wenn dem rechten Auge eine blaue und dem linken Auge eine gelbe Scheibe dargeboten wird, so daß die Farbenbilder auf correspondirende Nervenhauttheile fallen, so wird die Scheibe nicht grün erscheinen,

wie sie erscheinen müßte, wenn die beiden Farben, ehe sie die Augen erreichten, mit einander gemischt worden wären, sondern der Beobachter nimmt beide Farben getrennt wahr, zwar so, daß die eine oder die andere auf der ganzen Scheibe oder in einem Theile derselben abwechselnd vorherrscht. Es wird ebenfalls keine Spur von Violett wahrgenommen, wenn Roth auf die eine und Blau auf die andere Retina fällt; ebenso wenig Orange von Roth und Gelb. Diese Experimente können füglich mit dem Stereoskope angestellt werden, indem man die farbigen Scheiben hineinstellt; gewöhnlich wurden sie jedoch auf die Weise gemacht, daß man durch zwei verschiedenfarbige Gläser eine weiße Fläche betrachtete.

Einige Schriftsteller geben an, daß wenn jedes Auge eine verschiedene Farbe sieht, die aus der Mischung beider hervorgehende wahrgenommen würde, was aber gegen die Beobachtung ist. Hierher gehören Dr. Reid und Janin, welche in diesen Irthum gefallen sind, der ohne Zweifel daraus hervorging, daß sie nach vorgefaßter Meinung entschieden, ohne auf experimentativem Wege und unbefangen das Resultat zu erforschen.

§. 134. Brewster's Stereoskop.

Nachdem wir über die Auffindungen Wheatstone's sehr ausführlich gesprochen, weil sie einmal jedem strebenden Künstler noch immer eine neue Fundgrube zu optischen Zwecken sein werden, dann, weil Aenderungen am Stereoskop nur Modificationen des von Wheatstone angegebenen Principes sind, führen wir eine solche von Brewster zuerst angeregte Modification an. B. brachte die beiden Hälften einer Sammellinse von 15 Centimeter Brennweite, die in der Mitte durchschnitten wurde, so daß die eine Hälfte vor das linke, die andere vor das rechte Auge kam, in Anwendung. Diese Linsen brachte er in zwei kurze Messingröhrchen des Apparates (Taf. XXX, Fig. 6). Diese Messingröhrchen, die

in verschiebbaren Hülsen stecken, können auch, damit eine Einfassung leichter möglich wird, Linsenstücke enthalten, die wie Fig. 7 angedeutet, als runde Stücke aus den erwähnten Linsenhälften ausgeschnitten sind. Nimmt man diese Linsenstücke heraus, so sieht ein Kurzsichtiger anfangs allerdings zwei Bilder, die sich aber später zu einem plastischen Bilde vereinigen. Für einen Weitsichtigen hat man die Öffnungen weiter vom Boden zu entfernen. —

§. 135. Prismenstereoskope.

Wir können nicht diese Apparate verlassen, ohne noch eine Beschreibung von Prismenstereoskopen und eines Spiegelstereoskopes von Dove Erwähnung zu thun.

Bei Bildern, welche mit weißen Linien auf schwarzem Grunde gezeichnet sind, treten die durch Spiegelung von der unbelegten Vorderfläche des Glases entstehenden schwächeren Nebenbilder oft sichtbar neben dem von der belegten Hinterfläche entstehenden Hauptbilde hervor. Zur Beseitigung derselben ist es daher völlig nöthig, totale oder metallische Reflexion anzuwenden. Außerdem kann der Verdacht entstehen, daß bei einer stereoskopischen Erscheinung, in welcher die Conturen sich nicht vollständig decken, dies einer Unvollkommenheit der Zeichnungen zuzuschreiben sei. Der Wunsch, diese möglichen Fehlerquellen bei den in der vorhergehenden Abhandlung beschriebenen chromatischen Versuchen zu beseitigen, führte zur Construction folgender Stereoskope.

1. Prismenstereoskop, bestehend aus einem Prisma und einer für ein Auge entworfenen Zeichnung.

Die Bedingung einer wirklichen Identität beider Ansichten kann natürlich nur erfüllt werden, wenn nicht zwei Zeichnungen betrachtet werden, sondern nur eine.

Bei Betrachtung eines Gegenstandes im Spiegel kehrt sich derselbe in Beziehung auf rechts und links um. Bei allen stereoskopischen Darstellungen, welche nur in dem Sinne verschieden sind, daß die eine ein Spiegelbild der andern ist (und hierzu gehören die meisten, selbst die verwickeltsten der bisher veröffentlichten, z. B. fast sämmtliche der schönen von Hessemer entworfenen und von Albert in Frankfurt a. M. herausgegebenen Körpermodelle), kann also das wirkliche Spiegelbild der einen die Zeichnung für das andere Auge vertreten. Solche Zeichnungen können einfache Umkehrungen genannt werden im Gegensatz zu denen, bei welchen die auf die Verbindungslinie beider Augen lothrecht durch die Mitte des Körpers gelegte Ebene diesen nicht symmetrisch theilt. Betrachtet man durch ein gleichschenkeliges rechtwinkeliges Prisma, dessen Brechungsebene horizontal liegt, welches also so gestellt ist, daß seine Hypotenusenfläche lothrecht steht, der rechte Winkel des Prisma also horizontal liegt, einen aufrecht stehenden Gegenstand, so wird dieser aufrecht an seiner Stelle geblieben sein, aber er wird wie ein Spiegelbild seine rechte Seite mit seiner linken vertauscht haben. Durch ein solches Prisma liest man daher den in Lettern ausgeführten Satz wie eine gewöhnliche Druckschrift, ebenso kehrt sich ein Profil in das entgegengesetzte um. Betrachtet man nun die für das linke Auge im gewöhnlichen Stereoskop entworfene Zeichnung eines Körpers vermittelst des vor das rechte Auge gehaltenen Prisma, so wird unter der Voraussetzung, daß beide Projectionen einfache Umkehrungen von einander sind, diese Zeichnung als eine für das rechte Auge entworfene erscheinen. Für das linke bloße Auge bleibt aber das Bild unverändert, und da es leicht ist, durch Drehen das Prisma um eine der auf der Brechungsebene senkrechten Kanten beide Bilder zum Decken zu bringen, so tritt das Relief sogleich in überraschender Schärfe hervor.

Hält man bei unveränderter Lage der Zeichnung das Prisma vor das linke Auge, so erscheint, wenn der

Gegenstand als durchsichtig gedacht wird, also der Ansicht sowohl eine äußere convexe als eine innere concave Oberfläche darbietet, dieser in der Weise verändert, daß die Vorderfläche zur Hinterfläche geworden ist und umgekehrt diese zu jener. Hingegen erscheint der Körper vollkommen unverändert, d. h. derselbe wie im ersten Falle, wenn man mit dem vor das linke Auge gehaltenen Prisma die für das rechte Auge entworfene Zeichnung betrachtet, immer vorausgesetzt, daß er zugleich mit dem anderen unbewaffneten Auge betrachtet wird. Stellt die Zeichnung einen Körper dar, welcher wie eine gerade oder abgekürzte Pyramide nur ein in Beziehung auf die Fläche des Papiers entweder convexes oder concaves Relief geben kann, so erscheint dieselbe Zeichnung für das vor das eine Auge gehaltene Prisma in stereoskopische Combination mit dem anderen bloßen Auge als convexes Relief; wenn das Prisma hingegen vor das andere Auge gehalten wird, als concaves. Dreht man die Zeichnung, wenn das Prisma vor demselben Auge bleibt, in ihrer Ebene, so erscheint sie bei der Drehung um 90° durch Decken identischer Bilder als ebene Projection, hingegen verwandelt sich das concave Relief in ein convexes, wenn die Zeichnung in ihrer Ebene um 80° gedreht wird. Bei dieser Drehung ist vorausgesetzt, daß die Hypotenusenfläche stets lothrecht oder nahe lothrecht über der betrachteten Zeichnung steht.

Was die Größe des Prisma betrifft, so sind, wenn man es aus freier Hand gebraucht, gute Verhältnisse, wenn die Cathete einen Zoll lang, die Breite $\frac{3}{4}$ Zoll beträgt. Ist es in eine cylindrische Röhre gefaßt und am einem Ständer hoch und tief zu stellen, so genügen Prismen, in welchem die Höhe des rechtwinkeligen Dreiecks noch nicht zwei Linien beträgt.

2. Prismenstereoskop, bestehend aus einem Prisma und zwei Zeichnungen.

Während das vorhergehende Stereoskop der vollkommenen Identität der beiden Projectionen genügt und

außerdem den Vortheil totaler Reflexion gewährt, also Nebenbilder vermeiden läßt, aber nur auf einfache Umkehrungen anzuwenden ist, enthält das folgende nicht diese Beschreibung, entbehrt aber deswegen des ersten Vortheils. Bei einfachen Umkehrungen legt man dieselbe Ansicht doppelt nebeneinander und projicirt das durch das Prisma gesehene Bild der einen auf das mit bloßem Auge gesehenen der andern. Bei unsymmetrischen Ansichten legt man die für das rechte Auge entworfene rechts und projicirt dieselbe durch das vor das rechte Auge gehaltene Prisma auf eine links darnebenliegende Zeichnung, welche das gezeichnete Spiegelbild der im gewöhnlichen Stereoskop für das linke Auge entworfenen ist.

3. Prismenstereoskop, bestehend aus einem Reversionsprisma und zwei Zeichnungen.

Das Reversionsprisma kehrt einen Gegenstand vollständig um, sowohl in Beziehung auf rechts und links, als in Beziehung auf oben und unten. Man legt für unsymmetrische Projectionen die für das gewöhnliche Stereoskop entworfenen Zeichnungen in umgekehrter Lage neben einander und projicirt die durch das Reversionsprisma gesehene Zeichnung auf die andere mit bloßem Auge gesehene.

4. Prismenstereoskop, bestehend aus zwei Prismen und zwei Zeichnungen.

Man hält zwei gleiche gleichschenkelige rechtwinkelige Prismen mit lothrecht gehaltenen Hypotenusenflächen einzeln vor beide Augen, am besten so, daß die beiden Hypotenusenflächen einander zugekehrt sind, und bringt die neben einander liegenden Zeichnungen durch Neigung der Prismen zum Decken. Dieses Stereoskop ist wie das vorige für alle Zeichnungen anwendbar und, wenn die Prismen in cylindrische Röhren gefaßt an einem Stativ befestigt sind, eine äußerst bequeme Vorrichtung.

5. Spiegelstereoskop, mit zwei Zeichnungen und einem ebenen Metallspiegel oder Ablesungsprisma.

Man legt die für das linke Auge entworfene Zeichnung horizontal und betrachtet dieselbe mit bloßem linken Auge. Vor das rechte Auge hält man einen kleinen Metallspiegel oder ein Ablesungsprisma und betrachtet bei einfachen Figuren dieselbe in einer lothrechten Ebene gehaltene Zeichnung in analoger Lage oder für unsymmetrische Darstellungen eine Zeichnung, welche das Spiegelbild der für das rechte Auge entworfenen Projection ist. Es wird zweckmäßig sein, unsymmetrische Körperansichten gleichzeitig auf beide Seiten des Blattes zu zeichnen, um auf diese Weise sogleich das Spiegelbild zu erhalten.

Alle hier angegebenen Apparate können auch von denen angewandt werden, bei welchen die Sehweite des rechten Auges eine andere als die des linken ist. Für das Auge, welches weitsichtig ist, wird die für dasselbe geltende Ansicht in einem Maßstabe ausgeführt, welcher im Verhältniß der größeren Sehweite größer ist. Das Bild wird dann in demselben Maße vor dem Spiegel oder dem Prisma entfernt, erscheint dadurch kleiner, und das so verkleinerte, aber aus der Sehweite dieses Auges deutlich gesehene Bild wird nun mit dem vom bloßem Auge betrachteten zum Decken gebracht.

6. Das Doppeltsehen als Stereoskop.

Wer sich im Doppeltsehen geübt hat, kann die beiden stereoskopischen Bilder neben einander legen, sie durch Doppeltsehen in einer Richtung parallel der Verbindungslinie beider Augen in vier verwandeln, die beiden mittleren zum Decken bringen und erhält dann das Relie in der Mitte zwischen seinen beiden Projectionen. Diese Versuche sind aber so angreifend, daß ihre häufige Wiederholung nicht anzurathen ist. Man hat sie nur anzustellen, weil sie physiologisch von Interesse sind. Einen

sonderbaren Eindruck macht es, wenn die Bilder sich zum Relief vereinigen. Es ist, als wenn sie, sowie sie sehr nahe an einander gekommen sind, sich mit beschleunigter Geschwindigkeit anzögen.

In ähnlicher Weise werden, wenn zwei Personen mit auf einander gelegten Stirnen einander in die Augen sehen, für jeden die Augen des andern zuletzt in ein großes Auge an der Mitte der Stirn zusammenfallen.

7. Warum erscheint die Tiefe concaver Reliefe größer als die Höhe convexer?

Bei der Anwendung der beschriebenen Stereoskope tritt, besonders wenn man die Zeichnungen aus größerer Entfernung betrachtet, auffallend hervor, daß bei Vertauschung beider Projectionen mit einander convexe Reliefe weniger erhaben erscheinen als concave. Man setzt nämlich die Ebene des Papiers, auf welcher als Grundfläche die Zeichnung ausgeführt ist, in beiden Fällen in gleiche Entfernung; daß dies der Grund der Erscheinung sei, geht daraus hervor, daß hierbei die Seitenflächen einer abgekürzten Pyramide weniger steil gegen die Grundfläche geneigt zu sein scheinen, wenn die Schnittfläche dem Auge zugekehrt ist, als wenn man in die hohle Pyramide hineinzusehen glaubt. Da man nämlich die Schnittfläche in beiden Fällen unter gleichem Sehwinkel sieht, im zweiten Falle sie weiter zu sehen glaubt, so erregt sie die Vorstellung eines größeren in größerer Entfernung gesehenen Schnittes. Deswegen erscheint die Neigung vermindert.

Für diese Erklärung spricht folgender Versuch. D. stellte eine kleine Gypsbüste so vor den schön geschliffenen Hohlspiegel eines Amici'schen Mikroskops, daß das binocular gesehene umgekehrte Bild derselben in gleicher Größe unmittelbar neben dieselbe fiel. Bei unverrückt bleibender Stellung des rechten Auges schloß D. das linke. Augenblicklich trat das Bild in die Fläche des Spiegels zurück und erschien viel größer, weil es unter

demselben Gesichtswinkel gesehen nun in größerer Entfernung zu stehen schien.

Bei vergleichenden stereoskopischen Untersuchungen müssen die Bilder stets in gleichbleibender Entfernung liegen. Man vermeidet dadurch die Größenveränderungen, welche sogleich eintreten, wenn man das Relief in richtiger Entfernung erhalten hat, und indem man eine Zeichnung verschiebt und das Anpassungsvermögen des einen Auges ändert, das andere Auge zwingt ein Gleiches zu thun. Als Kennzeichen einer guten Combination kann es dienen, daß wenn man den Kopf langsam seitlich hin und her bewegt, das Relief in eine langsam schwingende Bewegung versetzt wird.

§. 136. Ueber die durch das Stereoskop betrachteten Farben. — Beweis, daß das Auge nicht achromatisch.

Nachdem nun Dove durch diese mannichfachen Modificationen des Stereoskopes immer tiefer in die Theorie des Binocularsehens hineingedrungen war, mußte er zu chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop gezwungen werden und erhielt interessante Resultate, die wir hier ihrer Wichtigkeit wegen folgen lassen. Es wurden nun jene meistentheils vage Behauptungen und jene oberflächlichen Beobachtungen über Farbenerscheinungen im Stereoskop, von denen wir vorher nur andeutungsweise sprachen, nochmals gründlich geprüft und daraus Folgerungen gezogen, die sich für die Folge auch vollständig bestätigt haben. Durch damit im Zusammenhange stehende Beobachtungen gelangte er zu der seit Fraunhofer's Untersuchungen anerkannten Thatsache, daß das Auge nicht vollkommen achromatisch, und da er diese Erscheinung gründlich bewiesen, so lassen wir der Deutlichkeit wegen die Untersuchung selbst folgen, die auch für den gebildeten Practiker ein großes Interesse haben müssen. Eine kurze, oft schief aufgefaßte Darstellung,

wie man sie in manchen Lehrbüchern sogar vorfindet, nützt nichts und führt mehr zu irrigen Ansichten, als zu einer wahrhaft wissenschaftlichen Belehrung. —

Die Beschreibung dessen, was man sieht, wenn man dem rechten Auge eine andere Farbe darbietet als dem linken, fällt bei verschiedenen Beobachtern sehr verschieden aus. Einige sehen abwechselnd eine Farbe nach der andern, einige farbige Flecke der einen neben farbigen Flecken der andern, endlich einige, die aus beiden Farben entstehende Mischungsfarbe. Streng genommen, liegt in dieser Beschreibung das Gemeinsame, das alle zugeben, daß unter gewissen Bedingungen eine Combination beider Farben möglich sei, denn das Nacheinander muß einen Durchgangspunkt haben, wo die abklingende Farbe ebenso stark wird, als die in das Bewußtsein tretende. Das Nebeneinander muß Stellen des Ueberganges haben, da die Flecke neben einander sich nicht scharf gegen einander abgrenzen. Es sind dies also dieselben Zustände, welche sich bei der dritten Art auf längere Zeit hervorbringen lassen.

Werden beiden Augen im Stereoskop dieselben Farben dargeboten, so combiniren sich diese in eben der Weise, als wenn man die Zeichnungen weiß auf schwarzem Grunde oder schwarz auf weißem Grunde ausführt. Für dioptrische Farben erhält man dies am besten, wenn man die Zeichnung weiß auf schwarzem Grunde ausführt und durch ein großes, beide Augen bedeckendes Glas betrachtet. Für katoptrische Farben ist es am besten, die Umrisse mit lebhaften Farben auf weißem Grund zu entwerfen.

Dasselbe gilt für subjective Farben. Betrachtet man durch ein farbiges Glas bei vollkommenem Ausschluß des diffusen Tageslichtes eine auf einem weißen Bogen mit schwarzen Linien ausgeführte Zeichnung, so sieht man das Relief mit schwarzen Kanten in der durch das Glas hervorgerufenen farbigen Beleuchtung. Hält man hingegen das farbige Glas in einiger Entfernung vom Auge, so daß das weiße zerstreute Tageslicht das Auge

ebenfalls trifft, so erscheinen die schwarzen Linien lebhaft subjectiv gefärbt und desto lebhafter, je länger man die Zeichnung betrachtet, in einem durch Kobalt blaugefärbten Glase roth, in einem rubinrothen Glase bläulich-grün. Dieselbe Färbung zeigt sich an den Kanten des Reliefs, wenn man mit beiden Augen durch das farbige Glas in das Stereoskop sieht, diese Linien mögen nun gerade oder gekrümmte sein.

D. zeichnete nun auf weißem Grund mit rothen Linien die Projection einer Pyramide, welche ein convexes Relief darstellte, und über derselben Grundfläche mit blauen Linien die Projection einer gleichen Pyramide, welche bei stereoskopischer Combination hohl erscheint. Das zweite Blatt enthielt die entsprechenden Projectionen mit denselben Farben.

Hätten sich die Eindrücke in gleicher Weise combiniren lassen als ihre beiden Componenten, so hätte die senkrechte Axe der convexen rothen Pyramide die Verlängerung gebildet der ebenfalls senkrechten Axe der hohlen blauen Pyramide. Es ist aber hier unmöglich ein Relief zu erhalten; man sieht stets einen von einem Sechsseit umschlossenen sechsseitigen Stern, dessen sämmtliche Linien aus neben einander liegenden blauen und rothen Linien gebildet sind. Hierbei tritt die sonderbare Erscheinung ein, daß die Ansicht mit einem Auge in viel höherem Grade den Eindruck eines Körpers macht, als die mit zwei Augen, weil im ersteren Falle zwei perspective Zeichnungen an einen Körper erinnern und deswegen zwei schiefe Pyramiden nach entgegengesetzten Seiten sich über die Grundfläche zu erheben scheinen, indem die Farbe das Zusammengehörige in zwei Gruppen sondert. Betrachtet man nun die im Stereoskop binocular gesehene complicirte ebene Figur durch ein blaues Glas, so erscheint die convexe Pyramide gebildet durch rothe Linien, betrachtet man sie hingegen durch ein rothes Glas, so erscheint die hohle Pyramide gebildet durch blaue Linien. Im ersten Falle nämlich verschwinden die blauen Linien fast vollständig in einer

blauen Beleuchtung, während die durch das blaue Glas absorbirten rothen Linien wie schwarze wirkten und sich daher röthlich subjectiv färbten, hingegen orange, wenn das blaue Glas durch Hinzufügung eines schwach-grünen prismatisch untersucht homogen war. Im letzten Falle verschwanden die rothen in der rothen Beleuchtung, und die blauen Linien verbanden sich subjectiv gefärbt zu einem Relief.

Die in der gleichen farbigen Beleuchtung nicht vollkommenen verschwindenden Linien liegen in beiden Fällen nicht gesondert in der Grundfläche der Pyramide neben einander.

Das Ergebniß dieses Versuches ist merkwürdig. Jedem Auge werden zwei Ansichten dargeboten, und dadurch ist eine doppelte Verbindung dieser vier Ansichten möglich. Hält das Auge die Identität des Umrisses fest und bekümmert es sich nicht um die Ungleichheit der Farbe, so muß es zwei ebene Darstellungen sehen, aus verschiedenen Farben zusammengesetzt. Das geschieht, wenn die Intensität der vier Bilder dieselbe ist. Wird diese aber sehr ungleich in Beziehung auf das körperlich zusammengehörige und das nicht dazu gehörige, so tritt die Identität des Umrisses zurück gegen die Vorstellung des Reliefs.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die Anforderungen, welche wir an die Vorstellung des Reliefs machen, strenger sind als die, welche bei den Beziehungen stattfinden, welche in einer Ebene liegend vorgestellt werden. Dafür spricht auch folgender Versuch.

D. zeichnete von einer sechsseitigen Pyramide für ein Auge die Projection vollständig, für das andere die Grundfläche und drei Seitenkanten und erhielt nur die halbe Pyramide, die einzeln gebliebenen drei Seitenkanten lagen flach auf dem Boden der Pyramide und erhoben sich erst, als die entsprechenden in der andern Zeichnung hinzugefügt wurden. Hingegen ergänzten sich die Grundkanten, wenn die alternirenden in jeder der beiden Zeichnungen fehlten, zu einem gemeinsamen

Umrisse. Dennoch kann auch der stereoskopischen Anschauung zu Hülfe gekommen werden. D. nahm ein Bergkrystallprisma, in welchem, wenn es als Prismenstereoskop gebraucht wurde, also das durch das Prisma gesehene Bild mit dem mit bloßem Auge betrachteten combinirt wurde, zwei nahe neben einander liegende Bilder gleicher Intensität erzeugt wurden. Es ist klar, daß nur eins dieser Bilder das mit bloßem Auge gesehene decken konnte. Dennoch erschien das Relief sehr deutlich, aber mit verdoppelten Kanten, vielleicht deswegen, weil die Lichtstärke des mit bloßem Auge gesehenen Bildes die Summe der Intensitäten der beiden durch das Prisma gesehenen Bilder wor.

Als Uebergang der Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn bei stereoskopischen Versuchen den beiden Augen verschiedene Farben dargeboten werden, wollen wir zunächst untersuchen, was eintritt, wenn Weiß und Schwarz stereoskopisch combinirt werden.

D. zeichnete die Projection für das eine Auge mit weißen Linien auf matt schwarzem Grund, für das andere Auge mit schwarzen Linien auf weißem Grund. Bei stereoskopischer Combination erhält man einen höchst merkwürdigen Anblick. Das Relief von grauen Flächen begrenzt, die wie Graphit glänzen, zeigt Kanten, die ihrer ganzen Länge nach aus blendend weißen und tiefschwarzen einander seitlich berührenden Linien begrenzt sind. Liegt das schwarze Blatt mit den weißen Linien vor dem linken Auge, das Blatt mit den schwarzen Linien auf weißem Grund vor dem rechten, so liegen die weißen Linien rechts neben den schwarzen; vertauscht man die Blätter vor den Augen, so kehrt sich auch die Anordnung der Linien um. Die seitliche Verschiebung ist daher immer eine gekreuzte.

Genau wie Weiß und Schwarz verhalten sich Farbencombinationen unter einander und mit Weiß, sie mögen nun dioptrisch oder katoptrisch hervorgebracht sein. Um die Combination dioptrischer Farben mit Weiß und dieser untereinander zu erhalten bedient man sich Zeich-

nungen, die mit weißen Linien auf schwarzem Grund entworfen sind. Im ersten Falle hält man nur vor das eine Auge ein farbiges Glas, im letzteren vor beide, aber vor das eine Auge ein anderes gefärbtes als vor das andere. Den schönsten Anblick gewährt das Relief, wenn ein tief blaues und rothes Glas combinirt werden. Das Relief erscheint in violetter Beleuchtung mit prachtvollen aus rothen und blauen einander parallel berührenden Linien bestehenden Kanten. Aber auch bei einander nahestehenden Farben bestehen die Kanten aus der ganzen Länge nach einander berührenden Farben und zwar ist die seitliche Verschiebung eine gekreuzte, d. h. die mit dem linken Auge gesehene Farbe erscheint rechts, die mit dem rechten Auge gesehene links.

Ganz analog sind die Erscheinungen bei der Combination katoptrischer Farben. Hier werden die Umrisse auf weißem Grund mit für die beiden Augen verschiedenen Pigmenten ausgeführt. Um dioptrische mit katoptrischen Farben zu combiniren, betrachtet man eine auf schwarzem Grund mit weißen Linien ausgeführte Zeichnung durch ein vor das eine Auge gehaltenes Glas, mit dem andern bloßen Auge eine mit farbigen Linien auf weißem Grund ausgeführte. Die Ergebnisse bei allen diesen Versuchen sind dieselben.

Sehr merkwürdig sind folgende Erscheinungen, die D. eben deswegen auch von andern Beobachtern sich hatte durch Wiederholung mit gleichem Erfolg bestätigen lassen. Er zeichnete mit weißen Strichen auf schwarzen Grund über derselben Grundfläche die Projection einer convexen und concaven Pyramide, auf ein zweites Blatt nur die Projection derselben convexen Pyramide für das linke Auge. Brachte er nun das rubinrothe Glas vor das linke Auge, während die erste Zeichnung sich vor dem rechten Auge ohne Farbenglas befand, so erschien die Pyramide und die Projection, aber es hing von seiner Willkür ab, die Pyramide aus weißen und rothen Kanten bestehend zu sehen und die Projection dann aus weißen Linien, oder die Pyramide mit weißen

Kanten und die Projection dann aus weißen und rothen Linien.

Er hatte genau dieselben Resultate mit den verschiedensten katoptrischen und dioptrischen Combinationen erhalten. Es geht daraus hervor, daß sich eine Projection als Contour mit einer andern zum Relief verbinden kann, und mit einer zweiten Projection als Farbe. Als Analogon dieses Versuches in dem Sinne, daß eine Zeichnung für zwei andere die Rolle des entsprechenden Bildes übernimmt, kann der mit dem Bergkrystallprisma angestellte früher erwähnte Versuch gelten.

Dieselben Erscheinungen, welche wir mit objectiven Farben erhalten, zeigen sich auch mit subjectiven. Die auf weißem Grunde mit schwarzen Linien ausgeführten Zeichnungen betrachtete D. im Stereoskop, indem er vor das eine Auge das rubinrothe Glas hielt, vor das andere das durch Kobalt blau gefärbte, und zugleich beide Augen durch das diffuse weiße Tageslicht treffen ließ. Auch hier bestanden alle Kanten des in voller Deutlichkeit hervortretenden Reliefs aus zwei parallelen, ihrer ganzen Länge nach einander berührenden farbigen Linien, bläulichgrün und roth, die durch den Gegensatz sehr lebhaft erschienen. Zweckmäßig hierbei ist, wenn die Durchsichtigkeit der Gläser sehr verschieden ist, diese Ungleichheit dadurch zu comprimiren, daß man die durch das helle Glas gesehene Zeichnung verhältnißmäßig schwächer beleuchtet. Auch diese subjectiven Farben erscheinen kreuzweise verschoben; hielt man nämlich das rubinrothe Glas vor das linke Auge, das blaue vor das rechte, so schienen die bläulichgrünen Linien rechts neben den rothen.

D. zeichnete auf ein rothes und auf ein grünes Papier mit schwarzen Linien die Projection eines Körpers, wie sie der Ansicht des rechten und linken Auges entsprechen. Im Stereoskop gleichzeitig gesehen, erschien das Relief mit schwarzen Kanten auf fast farblosem Grunde. Betrachtete er hingegen dieses Relief durch ein

vor beide Augen gehaltenes violettes Glas, so erschien der Körper auf weißem Grunde mit Kanten, die aus hellblauen und dunkelbraunen, einander berührenden Parallellinien zusammengesetzt waren. Auch in diesem Falle waren die neben einander sichtbaren Farben die, welche man einzeln erblickte, wenn man abwechselnd durch das violette Glas mit dem einen oder mit dem andern Auge die Zeichnungen betrachtete.

Alle bisher beschriebenen chromatischen Versuche wurden mit dem gewöhnlichen Wheatstone'schen Stereoskop und mit gleichem Erfolge mit den von D. in der folgenden Notiz beschriebenen verschiedenen Prismenstereoskopen angestellt. Sie können daher weder durch die bei Spiegelungen belegter Glasflächen entstehenden Nebelbilder noch durch Fehler der Zeichnungen erklärt werden. Ihre Erklärung muß daher in der Structur des Auges selbst gesucht werden.

Daß das Auge nicht vollkommen chromatisch ist, ist seit Fraunhofer's Untersuchungen anerkannt und durch spätere Versuche bestätigt. Es giebt dafür einen sehr einfachen Beweis, eine Beobachtung, die vor zwölf Jahren von Hrn. Plateau und von Dove unabhängig von einander gemacht wurde. Betrachtet man nämlich durch ein violettes Glas, welches bei prismatischer Analyse die Enden des Spectrums hindurchläßt, dessen Mitte aber verlöscht, eine Lichtflamme, so sieht man in der Weite des deutlichen Sehens die Lichtflamme violett, in einer größeren Enfernung eine rothe Flamme in einer größeren blauen, welche nach allen Seiten hin die erste übergreift und desto breiter umsäumt, je weiter die Lichtflamme sich vom Auge entfernt, in größerer Nähe als die Seheweite hingegen die violette Flamme von einem scharfen rothen Band umsäumt. Aus einer mittleren Entfernung sieht ein weitsichtiges Auge das letztere, wenn ein kurzsichtiges das erstere wahrnimmt. D. hatte seit dieser Zeit, um auf diese Weise die Sehweite zu prüfen, hunderte von Individuen untersucht und nie ein Auge gefunden, welches für alle Entfernungen der Bedingung

der Achromasie entspräche. Was für ein Auge hier gesagt wird, gilt ebenso, wenn beide Augen durch dasselbe violette Glas die Lichtflamme betrachten. Bekannt mit diesen Erscheinungen, fiel es ihm auf, daß er bei der stereoskopischen Betrachtung weißer, auf schwarzem Grund gezeichneter Umrisse, wenn sie durch farbige, für beide Augen verschiedene Gläser betrachtet werden, die Breite der Farbensäume in demselben Verhältniß sah, als bei den früheren Versuchen mit der Lichtflamme diesseits und jenseits der mittleren Sehweite; es lag daher nahe, in der Nichtachromasie des Auges den Grund der erwähnten stereoskopischen Erscheinungen zu suchen.

D. betrachtete daher eine feine, weiß auf schwarzem Grund gezeichnete Linie nach einander mit den einzelnen oben angewendeten farbigen Gläsern und fand, daß die Linie, um durch das rothe Glas deutlich gesehen zu werden, weiter vom Auge entfernt werden mußte, als bei Betrachtung durch das blaue. Dies ist analog dem von Brewster (Repert. of the British Assoc. 1848 p. 48) für Pigmente erhaltenen Ergebniß. D. schichtete nun verschiedene, aus einem dünnen Brett geschnittene Vierecke von verschiedener Größe und mit lebhaften Farben gemalt so übereinander, daß sie im verjüngten Maßstabe treppenartig über einander lagen, indem die Ränder der unteren über die der darauf gelegten kleineren hervorragten. Solcher Pyramiden wurden zwei neben einander gebildet, in denen die gleich großen Stufen entgegengesetzt gefärbt waren, so daß die eine Pyramide mit einer blauen, die andere mit einer rothen Grundfläche begann. Es erschien nun ein blaues Viereck über einer rothen Grundfläche stets höher, als das rothe über der blauen, so daß bei weiterem Aufbau die Pyramiden einander abwechselnd an Höhe übertrafen. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Convergenzlinien beider Augen bei deutlichem Sehen für rothes Licht einen spitzeren Winkel bilden, als für blaues. Hält man daher vor beide Augen dasselbe farbige Glas, so wird sich das Accommodationsvermögen beider ändern müssen, wenn man mit

der Farbe des Glases wechselt. Für die, welche mit beiden Augen gleich gut sehen, wird das Accommodationsvermögen bei dem gewöhnlichen Sehen für beide Augen stets dasselbe sein, proportional nämlich dem Winkel der Convergenzlinien beider Augen. Hält nun ein solcher Beobachter vor das eine Auge ein farbiges Glas, vor das andere Auge ein andersfarbiges, so stellt er den Augen die Aufgabe, das gleiche Accommodationsvermögen beider oder wenigstens das Verhältniß desselben unter der Voraussetzung, daß es für beide Augen nicht gleich sei, zu verändern, und da dieser Aufgabe nicht genügt werden kann, so werden sich die Bilder nicht decken, sondern aus sich kreuzenden Richtungen auf eine Fläche projicirt werden, die nicht im Durchschnittspunkte beider Richtungen liegt, und in der That, dieselben Erscheinungen, wie im Stereoskop, treten freilich weniger deutlich auch bei gewöhnlichem binocularem Sehen eines mit weißen Linien auf schwarzem Grunde gezeichneten Gegenstandes hervor, nämlich ein paralleles Nebeneinanderliegen einander berührender farbiger Linien, wenn man mit dem rechten Auge durch ein Glas ihn betrachtet, dessen Farbe eine andere ist, als die des Glases, durch welches er gleichzeitig mit dem linken Auge gesehen wird.

Betrachtet man binocular mit bloßen Augen einen weißen Gegenstand oder überhaupt einen nicht monochromatischen, so kann der Bedingung des deutlichen Sehens streng genommen nicht durch einen Convergenzwinkel der Seherichtungen beider Augen entsprochen werden, sondern durch mehrere, im ersten Falle durch eine Anzahl zwischen den Gränzen für die rothen und blauen Strahlen. Man kann sich nun vorstellen, daß die Augenaxen zwischen den Grenzen ununterbrochen oscilliren oder daß sie innerhalb der Grenzen jenes lothrecht auf der Verbindungslinie der Augen liegenden Spectrums, welches bei dem Weißsehen der Bedingung der Deutlichkeit für alle homogenen Farben entsprechen würde, auf einen bestimmten Punkt dieses Spectrums gerichtet

sind. Das letztere ist bei Dove das Wahrscheinliche, weil er binocular eine Linie weiß sah, wenn ein elektrischer Funke momentan das Dunkel erleuchtet und sie auch stereoskopisch combiniren konnte, die kurze Lichtdauer ihm aber die Möglichkeit einer Oscillation der Augenaxen während dieses Leuchtens auszuschließen schien. Durchschneidet man nun die links liegenden Schenkel der den einzelnen Farben entsprechenden Convergenzlinien mit einem rothen Glase, die rechts liegenden mit einem blauen, welches, wie das von Dove angewendete, bis zum violetten Ende des Spectrums diaphan ist, so werden von den links liegenden Schenkeln nur die rothen, von den rechts liegenden nur die blauen übrig bleiben, welche auf eine Entfernung bezogen werden, die der mittlern Convergenz bei Betrachtung eines weißen Gegenstandes entspricht. Nun ist es aber äußerst wahrscheinlich, daß diese Entfernung nicht in der Mitte der Grenzen für die rothen und blauen Strahlen liegen wird, sondern wegen der größeren Helligkeit der weniger brechbaren mehr nach dem rothen Ende hin. Daher werden auf der Projectionsebene sich die Strahlen kreuzen, wegen des breiten Saumes am blauen Ende aber die blauen Linien breiter sein, als die rothen. Dies ist aber genau die Erscheinung, wie sie wirklich gesehen wird.

Aus dem eben erklärten folgt, daß man farbige Linien nebeneinander, farbige Flächen vor einander sehen wird. Dafür sprechen aber folgende Versuche:

D. hatte die Schnittfläche einer abgekürzten Pyramide in einer Projection mit einem gesättigten Blau, in der andern mit Gelb bedeckt. Wenn bei stereoskopischer Combination daraus Grün entstand, so war es ihm im Moment, wo dies eintrat, als wenn er durch die eine durchsichtig gewordene Farbe die andere hindurchsehe. Daß viele die Farben nur nach einander sehen, entweder die eine oder die andere, liegt einfach darin, daß dieselben das Anpassungsvermögen für beide Farben abwechselnd ändern und sich nur der Grenzen dieser Aenderung, nicht der Mittelstufen bewußt werden. Bei der

Combination zu Grün schien ihm und Anderen die Farbe wie mit einem Firniß bedeckt. Dieses Glänzendwerden der Mischung hatte auch Hr. Oertling bemerkt, als er verschieden gefärbte Zweiecke einer nach Art eines Luftballons gemalten Halbkugel stereoskopisch combinirte. Aber diese Erscheinungen sind so wenig auffallend, daß sie von vielen nicht gesehen werden. Betrachtet man hingegen bei stereoskopischer Combination die gelb und blau gemalte Schnittfläche der Pyramide durch ein vor beide Augen gehaltenes violettes Glas, so erscheint sie, spiegelnd wie ein polirtes Metall, für ein einzelnes Auge matt. Wahrscheinlich bewirkt das violette Glas, daß die beiden zusammentretenden Farben durch das ungleiche Absorptionsvermögen zu gleicher Intensität gebracht werden.

Unter allen Fällen, wo eine Fläche glänzend erscheint, ist es immer eine spiegelnde durchsichtige oder durchscheinende Schicht von geringer Mächtigkeit, durch welche man hindurch einen anderen Körper betrachtet. Es ist also äußerlich gespiegeltes Licht in Verbindung mit innerlich gespiegelten oder zerstreuten, aus deren Zusammenwirkung die Vorstellung des Glanzes entsteht. Dieses steigert sich bei der Anzahl der Abwechselungen beider Körper. Daher nimmt aufgeblätterter Glimmer Metallglanz an, Sätze von Glasscheiben hingegen Perlmutterglanz. Die beiden auf das Auge wirkenden Lichtmassen wirken auf dasselbe aus verschiedenen Entfernungen. Indem nun das Auge sich dem durch die durchsichtige Schicht gesehenen Körper anpaßt, kann das von der Oberfläche zurückspiegelnde Licht nicht deutlich gesehen werden, und das Bewußtwerden dieser undeutlich wahrgenommenen Spiegelung erzeugt die Vorstellung des Glanzes. Der Glanz ist daher stets im eigentlichen Sinne ein falscher, ein Beiwerk, welches blenden kann, das aber, wenn wir es beachten, die Sache, auf die es ankommt, schief ins Auge zu fassen verhindert. Es verschwindet daher, wenn man die Spiegelung fortschafft,

indem man unter dem Polarisationswinkel durch ein Nicol'sches Prisma auch den Firniß eines Gemäldes sieht.

Die Modificationen, welche durch den Reflex des Lichtes der spiegelnden Flächen aus dem Gangunterschiede zweier Lichtmengen in Beziehung auf die daraus resultirenden Lichtschwingungen entstehen, sind daher nicht die Ursachen des Glanzes, sondern vielmehr Nebenfolgen der Bedingungen, unter welchen er überhaupt entsteht.

Aus allen bisher erörterten Versuchen geht hervor, mit Enschiedenheit, daß Weiß und Schwarz sich in Beziehung auf das Auge genau so verhalten, wie zwei verschiedene Farben. Sowie die rothen und blauen Ränder bei dem stereoskopischen Relief sich kreuzend nebeneinander legen, ebenso die weißen und schwarzen; sowie blaue und rothe Flächen in einer violetten Mischung zusammentreten, so weiße und schwarze in einer grauen. Der Glanz, den die Farben bei ihrer stereoskopischen Combination annehmen, tritt in noch viel höherem Grade bei Weiß und Schwarz hervor. Es ist so entschieden, daß einige, denen Dove diese Versuche zeigte, ihn mit Bleiglanz oder dem des Zinns verglichen, obgleich die weißen und schwarzen Flächen selbst vollkommen matt waren.

Nach der oben gegebenen Ableitung des Glanzes muß aber die eine Fläche vor der andern erscheinen, die Sehweite also für sie verschieden sein. Durch directe Versuche hatte D. dies bei Schwarz und Weiß nicht ermitteln können, und es geht eben daraus hervor, daß die hier befolgte experimentelle Methode feinere Unterschiede zu erkennen gestattet, als die unmittelbaren Anschauungen. Da nun Schwarz und Weiß sich nur quantitativ unterscheiden als größtmögliche Unterschiede der Helligkeit, so ist das Analogon zu den früheren Versuchen mit farbigen Beleuchtungen, bei welchen in blauer Beleuchtung Gegenstände, um deutlich gesehen zu werden, näher gestellt werden müssen, als in rother, das Betrachten der Gegenstände mit bloßen Augen in verschiedenen

Zuständen der Helligkeit. Die Pupille erweitert sich im Dunkel und zieht sich bei wachsender Helligkeit zusammen, die Pupille ist aber auch kleiner bei dem Betrachten naher Gegenstände, als wenn man einen entfernten scharf beobachtet. Ein dunkler Gegenstand wird also unter ähnlichen, äußerlich sichtbaren Veränderungen des Auges gesehen wie ein fernerer, ein weißer wie ein näherer. In der Entfernung des deutlichen Sehens erscheint durch das violette Glas, welches die Enden des Spectrums hindurchläßt, aber seine Mitte verlöscht, eine Lichtflamme ohne Saum violett, d. h. die rothe Flamme so groß wie die blaue. Ebenso erscheint in der Entfernung des deutlichen Sehens ein weißer Gegenstand so groß wie ein schwarzer. In größerer Entfernung umsäumt ein blauer Rand die rothe Flamme, d. h. die blaue Flamme erscheint größer als die rothe. Ebenso erscheint der weiße Kreis auf schwarzem Grunde jenseits der Weite des deutlichen Sehens größer als der schwarze auf weißem Grunde. Die Erscheinungen der Irradiation sind also durch eine Kette experimenteller Erfahrungen mit chromatischen Erscheinungen verknüpft, die unmittelbar den Weg zu ihrer Erläuterung geben. Sie finden ihre Erledigung in dem Satze, daß für eine gegebene Entfernung das Accommodationsvermögen des Auges für weiße Gegenstände ein anderes ist, als für schwarze.

Daraus, daß auch bei monochromatischer Beleuchtung die Erscheinungen der Irradiation wahrgenommen werden, zieht Plateau gegen Arrago den Schluß: que s'il faut ad mettre l'existence de l'aberration de réfrangibilité dans l'oeil on doit attribuer l'irradiation à une autre chause et que l'effet de l'aberration doit être consideré comme entrèrement masqué dans les circonstances ordinaires par la bande d'irradiation. Kommt der Unterschied von Weiß und Schwarz auf den eines helleren und dunkleren zurück, so versteht sich von selbst, daß, was für die Totalität aller Farben gilt, auch auf

jede einzelne monochromatische Farbe seine Anwendung finden muß. Da nun aber Weiß und Schwarz sich in allen erörterten Versuchen genau wie zwei verschieden brechbare Farben verhalten, so kann man, um von sämmtlich hier zur Sprache gekommenen Erscheinungen sich Rechenschaft zu geben, folgenden Satz aussprechen. Das Accommodationsvermögen des Auges ändert sich, wenn es die Farbe in verschiedener Intensität sieht, in derselben Weise, als wenn es verschiedene Farben von gleicher Intensität betrachtet, und zwar verhält sich das Hellere zum Dunkleren wie eine mehr brechbare Farbe zu einer weniger brechbaren.

Aus den erläuterten Thatsachen folgen einige practische Regeln dafür, wie man Drucke einzurichten habe, um für das Auge am Angemessensten bei dem Lesen derselben zu sein. Es ist unzweckmäßig, wie es jetzt so häufig geschieht, in einem mit schwarzen Lettern auf weißem Papier gedruckten Text Figuren einzufügen, welche weiß auf schwarzem Grunde ausgeführt sind. Die dem Auge passendste Schrift würde blaue Lettern auf weißem Grunde sein, oder schwarze Lettern auf einem nach dem rothen Ende des Spectrums hin liegenden, vielleicht einem in das Orange ziehenden Gelb. Daß ein im Alter weitsichtig werdender die Convexbrille zuerst bei dem Lesen gebraucht, hat nicht allein seinen Grund in der Kleinheit der Schrift, sondern auch in dem Verhalten des schwarzen Pigments auf der weißen Grundlage zum Auge. Schwarze Lettern, welche die Schrift als stark hervorspringend perspectivisch darstellen, sind besonders unzweckmäßig, da das Auge ein Zurücktreten derselben gegen die Grundlage verlangt, nicht ein Hervortreten vor dieselbe.

Zu dem Vorausgeschickten fügen wir noch, der Ausführlichkeit des Inhaltes wegen, Folgendes hinzu:

§. 137. Ergänzung zu dem Binocularsehen der Farben.

Es sind von Dove Versuche veröffentlicht worden, aus denen hervorgeht, daß, wenn im Stereoskop Farben betrachtet werden, welche bei gleicher Intensität genau conplementär sind, diese Farbeneindrücke einander ebenso zu weiß neutralisiren, als wenn beide auf der Netzhaut eines und desselben Auges erregt werden. Diese Versuche sind neuerdings von Herrn Regnault mit gleichem Erfolge wiederholt worden. Wendet man hingegen statt der Polarisationsfarben Pigmente oder die Absorptionsfarben durchsichtiger Gläser an, so wird man sich leicht nur des Farbeneindrucks des einen Auges bewußt, besonders wenn die Intensität der gleichzeitig mit dem rechten und der mit dem linken Auge gesehenen Farbe verschieden ist. Nun ist aber bekannt, daß, wenn einem Auge zwei Farben gleichzeitig dargeboten werden, ihre Mischungsfarbe gesehen wird, wie verschieden auch die Intensität der Componenten sein mag.

Es würde daraus folgen, daß, wenn zwei Wellensysteme gleichzeitig Eine Netzhaut erschüttern, wir uns des daraus resultirenden Systems stets bewußt werden; afficiren hingegen zwei Systeme gesondert beide Netzhäute, so findet dies nur statt, wenn die Elongation der Schwingungen beider nahe gleich oder nicht zu verschieden ist. Im ersten Falle kann man daher nicht das resultirende System in seine Componnenten zerlegen, indem man eine der Componenten absichtlich übersieht. Im letzteren Falle ist dies möglich, weil beide Systeme sich factisch nicht zu einem resultirenden combiniren.

Es giebt einfache stereoskopische Zeichnungen, z. B. eine gerade abgekürzte oder vollständige Pyramide, ein gerader abgekürzter oder vollständiger Kegel, von denen die für das linke Auge eine bloße einfache Umkehrung der für das rechte Auge ist, d. h. solche, welche, wenn

sie für rechts und links sich unterscheiden, für oben und unten identisch bleiben oder umgekehrt. Dies führte darauf, daß man auch ein stereoskopisches Relief mit einer einzigen dieser Zeichnungen erhalten könne, wenn man diese nämlich so betrachtet, daß man vor das eine Auge ein Fernrohr hält, welches, wie das galiläische oder terrestrische, sie aufrecht zeigt, vor das andere eins, welches, wie das astronomische, sie umkehrt, vorausgesetzt, daß die Vergrößerung beider Fernrohre dieselbe ist.

Der Versuch bestätigt dies, woraus hervorgeht, daß zwei Bilder gleicher Intensität sich auf diese Weise ebenso combiniren, wie im Wheatstone'schen Stereoskop. Diese Methode läßt sich daher auch auf Farben anwenden.

Wirft man die durch Doppelbrechung entstandenen Spectra eines gleichseitigen Bergkrystallprismas, dessen Kanten der Axe parallel sind, auf eine weiße Wand, so sieht man da, wo das violette Ende des einen Spectrums über das rothe des anderen greift, eine sehr schöne Purpurfarbe entstehen, welche sich in ihre Componenten zerlegen läßt, wenn man die unmittelbar mit dem Auge aufgefangenen Spectra durch ein Nicol'sches Prisma analysirt, bei dessen Drehung einmal das Violett, dann das Roth als senkrecht auf einander polarisirt verschwinden. Wirft man hingegen das Spectrum eines gleichseitigen Flintglasprismas auf die Wand und betrachtet dasselbe so durch die beiden Fernröhre, daß die Bilder in umgekehrter Weise einander decken, so verschwindet das Violett in der Weise gegen das Roth, daß man sich des Eindrucks des letztern allein bewußt wird, wenn man mit beiden Augen gleich scharf sieht. Der Uebergang des Feuerroth durch Purpur in Violett erscheint erst, wenn man die Sehkraft des einen Auges absichtlich schärft, so daß von den einander deckenden Bildern das eine zuletzt ganz verschwindet. Auf diese Weise scheinen sich die verschiedenen Ergebnisse zu erläutern, welche in den Angaben der Versuche verschiedener Beobachter sich

finden, welche ihren Augen gesonderte Farbeneindrücke darboten.

Vertauscht man die vor das rechte und linke Auge gehaltenen Fernröhre mit einander, so erhält man dieselbe Umkehrung der Erscheinung, als im Wheatstone'schen Stereoskop durch Vertauschung der beiden Zeichnungen unter einander. Der vorher erhaben gesehene Gegenstand erscheint nun vertieft.

§. 138.

Zum Schlusse der stereoskopischen Betrachtungen lassen wir noch ein der neuesten Zeit angehöriges Instrument mit seiner Beschreibung, das Telestereoskop von Helmholtz, folgen, das zu manchen interessanten Erscheinungen und ihrer Erklärung Veranlassung gegeben hat. Wir geben die Beschreibung hier in jener klaren Darstellung wieder, die dem rühmlichst bekannten Gelehrten schon seit seinem ersten Auftreten eigen ist. —

Das Netzhautbild jedes einzelnen menschlichen Auges stellt eine perspectivische Projection der im Gesichtsfelde befindlichen Gegenstände dar. Da der Standpunkt, von welchem diese Projection aufgenommen ist, für beide Augen desselben Individuums etwas verschieden ist, sind auch die beiden perspectivischen Bilder selbst nicht ganz identisch, und ihre Verschiedenheiten benutzen wir, wie die stereoskopischen Versuche lehren, um uns daraus ein Urtheil über die verschiedene Entfernung der dargestellten Objecte vom Auge zu bilden. Nun sind die Abbildungen desselben Gegenstandes auf beiden Netzhäuten desto mehr von einander verschieden, je näher der Gegenstand den Augen steht. Bei sehr entfernten Gegenständen, gegen deren Entfernung die Distanz der Augen verschwindend klein ist, verschwindet auch der Unterschied der Bilder, und für solche geht uns also dieses Hülfsmittel, die Entfernungen der Gegenstände zu schätzen und ihre körperliche Gestalt zu erkennen, verloren.

Man kann sich davon namentlich an fernen Gegenständen von unregelmäßiger Form, z. B. den die Aussicht begränzenden Bergzügen überzeugen. Die letzteren erscheinen stets wie eine uns kreisförmig umgebende, am Horizont gerade aufsteigende Wand; wir erkennen nichts von den Wölbungen, Einschnitten, verschiedenen hinter einander liegenden Ketten der Berge, wenn uns nicht Schlagschatten, Luftperspective oder eine genaue, schon früher erworbene Kenntniß ihrer Form zu Hülfe kommen. Bei Gegenständen von unregelmäßiger Form, Gebäuden u. s. w. genügt dem Vorstellungsvermögen schon eher eine einzige perspectivische Ansicht, um sich die nach der Tiefe des Bildes gerichteten Dimensionen ziemlich gut zu ergänzen.

Bei den stereoskopischen Landschaftsbildern, welche jetzt viel durch Photographie erzeugt werden, ist nun diesem Mangel dadurch abgeholfen, daß der Photograph für die zweifache Aufnahme der Landschaft, sich zwei beliebig weit von einander entfernte Standorte wählen, und daher jedenfalls zwei hinreichend von einander verschiedene perspectivische Projectionen der Gegend verschaffen kann. Der Beschauer glaubt dann im Stereoskope ein verkleinertes Modell der Landschaft zu sehen, dessen Dimensionen sich zu denen der Landschaft verhalten, wie die Augendistanz des Beobachters zur Distanz der beiden Standorte der photographirenden Camera obscura.

Daher erklärt sich, daß diese stereoskopischen Bilder eine viel deutlichere Vorstellung von der Form der Landschaft geben, als die Betrachtung der wirklichen Landschaft wenigstens einem durchreisenden Fremden gewährt, der die einzelnen Objecte der Landschaft nicht schon so genau kennt, wie die Einwohner. Städte, welche von einem hohen Punkte aus dem Beschauer als ein wüster Haufen von Dächern erscheinen, lösen sich im stereoskopischen Bilde auf in die einzelnen, von den Straßen eingeschaltenen Vierecke; man erkennt die relative Höhe der Häuser, die Breite der Straßen u. s. w. Dem entsprechend findet man, daß man von den riesigen Dimensio-

nen der Hochalpen im Stereoskop oft einen besseren Begriff bekommt, als auf einer Alpenreise, weil derjenige, welcher solcher Bergreisen und Berganſichten ungewohnt ist, die Berge sich meist zu nahe und demgemäß zu klein vorstellt, theils wegen des Mangels der Luftperspective, theils weil er so große Dimensionen zu beurtheilen nicht geübt ist. Nur indem er die Mühseligkeit des Steigens durchmacht, und nach einander dieselben Berge von verschiedenen Standpunkten aus sieht, bildet er sich eine Art von unvollkommenem Urtheil über ihre Größe. Noch sind offenbar die Vortheile, welche das Stereoskop in dieser Beziehung gewähren kann, wenig ausgebeutet, weil die Photographen im Ganzen eine größere Distanz der Aufnahmepunkte mit Unrecht zu scheuen scheinen. Es läßt sich einsehen, daß man z. B. genau körperliche Bilder der unnahbarsten Theile der Hochalpen wird erhalten können, wenn man sich für die photographische Aufnahme passende Standpunkte sucht, welche einige tausend Fuß aus einander liegen. „Bei der Betrachtung guter Modelle dieser Berge habe ich immer gefunden," sagt Helmholtz, „daß ich mir durch die landschaftlichen Ansichten auf Reisen sehr ungenügende Vorstellungen von den Berggruppen gemacht hatte. Ich hatte sie mir im Allgemeinen zu nah an einander gedrängt, und ihre Grundflächen zu schmal vorgestellt. Darin liegt auch wohl der Grund, warum uns Bergmodelle mit übertriebenen Höhen meist besser gefallen, als solche mit richtigem Höhenverhältnisse. Erstere sind der falschen Vorstellung, die wir uns bei flüchtigen Reisen durch die Gebirge zu bilden pflegen, mehr entsprechend als die letztere.

Einen Theil der Vortheile, welche die stereoskopischen Photographieen gewähren, kann man sich auch bei der directen Beschauung einer Landschaft verschaffen, mittelst eines einfachen Instruments, welches ich Telestereoskop genannt habe. Der Zweck desselben ist, dem Beschauer zwei Bilder der Landschaft stereoskopisch vereinigt zu zeigen, welche zwei Standpunkten entsprechen, deren Distanz die der menschlichen Augen beträchtlich übertrifft.

Die Figur Taf. XIV, Fig. 9 zeigt einen mittleren horizontalen Durchschnitt des Instruments in $\frac{1}{11}$ seiner natürlichen Größe.

Die wesentlichen Theile davon sind vier Spiegel, b, b und c, c, welche senkrecht in einem gemeinsamen hölzernen Kasten, und unter 45° gegen die längsten Kanten desselben geneigt befestigt sind. Die äußeren Spiegel b müssen groß, die innern c können klein sein, alle müssen von den besten geschliffenen dicken Platten genommen sein, die man unter den käuflichen Spiegeln findet, damit sie nicht verzerrte Bilder geben. Das von dem fernen Objecte kommende Licht wird auf den Wegen a b c d zwei Mal unter rechten Winkeln reflectirt, und fällt bei d d in die beiden Augen des Beobachters. Bei f f sind Diaphragmen angebracht, um zu verhindern, daß anderes Licht in die Augen des Beobachters gelange, als was zweimal reflectirt ist. In den Oeffnungen des Kastens, durch welche der Beobachter hineinblickt, ist es zweckmäßig, zwei ganz schwache Concavgläser von 30 bis 40 Zoll Brennweite einzusetzen, weil die meisten Augen sehr entfernte Gegenstände nicht ganz deutlich sehen, worauf es hier gerade ankommt. So schwache Gläser hindern auch normalsichtige Augen nicht, deutlich zu sehen.

Für Laien ist es wohl rathsamer, die Spiegel festzustellen, wie es in der Zeichnung angenommen ist; für gewisse physikalische Versuche, namentlich um nahe Gegenstände beobachten zu können, ist es nützlich, die vier Spiegel um senkrechte Axen drehbar zu machen.

Jedes Auge des Beobachters sieht in dem kleinen Spiegel seiner Seite den großen, und in dem großen die Landschaft gespiegelt, letztere aber erblickt er in einer solchen perspectivischen Projection, wie sie von den beiden großen Spiegeln b b aus erscheint, wodurch natürlich viel größere Verschiedenheiten der beiden perspectivischen Ansichten hervorgebracht werden, als die beiden Augen des Beobachters bei unmittelbarer Betrachtung der Landschaft gewähren. Um den Standpunkt genau zu bestim-

men, von dem die Landschaft hierbei betrachtet wird, muß man sich die von den zwei Spiegelpaaren entworfenen Bilder der Augen des Beobachters suchen, welche in der Figur in der Verlängerung der Linien ab liegen würden, über b hinaus, und zwar von b um bc + cd entfernt. Durch das Instrument wird also die Augendistanz des Beobachters bis zur Größe bb künstlich vergrößert.

Dem Beobachter erscheint die Landschaft durch das Telestereoskop wie ein verkleinertes Modell. Es ist dabei einerlei, ob in dem Instrumente Concavgläser angebracht sind oder nicht. Alle nicht zu entfernten Theile der Landschaft bekommen dasselbe körperliche Ansehen, wie im Stereoskop, und behalten dabei den ganzen Reichthum ihrer natürlichen Farben, so daß Bilder von überraschender Zierlichkeit und Eleganz entstehen.

Fernere Gegenstände erscheinen allerdings platt, lösen sich aber doch noch von ihrem Hintergrunde ab, so z. B. Berge, die eine halbe Meile entfernt sind, vom Himmel. Wie auf den stereoskopischen Photographieen, ist auch im Telestereoskop der Anblick von Baumgruppen sehr überraschend, weil sich die einzelnen Wipfel und in jedem Wipfel die einzelnen Zweige vollständig von einander lösen. Auch niedrig ziehende Wolken scheinen in dem Instrumente häufig viel körperlicher, und mehr von einander getrennt, als dem freien Auge.

Je größer der Abstand der beiden größeren Spiegel ist, desto weiter hinaus in die Ferne zeigt das Instrument die körperlichen Formen der Objecte. Größere Spiegel geben ein größeres Gesichtsfeld. Will man daher auf irgend einem Aussichtspunkte das Instrument feststehend anbringen, um die Aussicht dadurch betrachten zu lassen, so wird es vortheilhaft sein, die Dimensionen der Spiegel und ihren Abstand möglichst zu vergrößern, und das Ganze auf einen drehbaren Tisch zu stellen. Für gewöhnlich ist es bequem, die größte Länge des Instruments nicht größer als die Breite eines Fensters zu machen, damit man es vom Zimmer aus ge-

brauchen könne. Uebrigens erhält man einen großen Theil der Effecte auch mit kleineren Instrumenten, in denen der gegenseitige Abstand der Spiegel viel geringer ist.

Physiker, welche in Anstellung optischer Versuche geübt sind, können sich übrigens eine telestereoskopische Ansicht der Landschaft verschaffen, ohne eines weiteren Apparates zu bedürfen, als eines großen und eines kleinen Spiegels. Den großen Spiegel hängt man so auf, daß man unter 45° in ihn hineinblickend die Landschaft sehen kann, stellt sich in der genannten Richtung einige Fuß von ihm entfernt auf, und hält den kleinen Spiegel dem großen parallel vor dasjenige Auge, welches der Ebene des großen Spiegels am nächsten ist. Wenn also z. B. die rechte Seite des Beschauers dem großen Spiegel näher ist, betrachte er mit dem rechten Auge die Landschaft im kleinen Spiegel, mit dem linken im großen, bringe beide Bilder der Landschaft zum Decken und er wird denselben optischen Effect haben, wie im Telestereoskope.

Man kann hierbei aber nur schwer verschiedene Stellen der Aussicht nach einander zur Beobachtung bringen, und nähere Gegenstände erscheinen dem linken Auge in geringerer scheinbarer Größe, als dem rechten.

Um nahe Gegenstände im Telestereoskop betrachten zu können, muß man die Spiegel um ihre senkrechten Axen drehen können, so daß die Winkel zwischen ihrer Fläche und der Längskante des Kastens etwas größer als 45° werden. Die Objecte erscheinen dann stark verkleinert, ebenfalls mit sehr auffallend hervortretendem Relief. Wenn man bloß die großen Spiegel dreht, die kleinen aber unter den Winkel von 45° stehen läßt, erhält man sogar übertriebenes Relief. Sollen die Dimensionen in Richtung der Tiefe des Gesichtsfeldes zu denen in der Fläche des Gesichtsfeldes das richtige Verhältniß behalten, so muß man die kleinen Spiegel den großen stets parallel stellen. Auch der Anblick naher Gegenstände, namentlich menschlicher Figuren, im Tele-

stereoskope, ist sehr überraschend und zierlich. Der Eindruck unterscheidet sich von der Verkleinerung durch Concavgläser wesentlich dadurch, daß man nicht nur verkleinerte Bilder, sondern wirklich verkleinerte Körper vor sich zu sehen glaubt.

Vergrößerungen lassen sich mit dem Telestereoskope leicht verbinden, der Beobachter braucht nur unmittelbar zwischen seine Augen und die kleinen Spiegel ein doppeltes Opernglas zu bringen; noch vortheilhafter für das Gesichtsfeld ist es, die Oculare und Objective des Opernglases herauszunehmen und im Telestereoskope so zu befestigen, daß das Licht auf jeder Seite erst den großen Spiegel, dann das Objectiv, dann den kleinen Spiegel, endlich das Ocular trifft, so daß dabei die optische Axe des Fernrohrs selbst unter einem rechten Winkel gebrochen wird. Je stärker die Vergrößerung ist, desto größere Anforderungen muß man natürlich an die Genauigkeit der Planspiegel machen, aber man braucht sie dann auch nicht größer als die Objectivgläser der Fernröhre zu wählen.

Dergleichen zugleich teleskopische und stereoskopische Bilder übertreffen wiederum die gewöhnlichen Bilder eines einzelnen Teleskops außerordentlich an Lebendigkeit. Bei den einfachen teleskopischen Bildern schwindet die Anschauung verschiedener Entfernung ganz und gar, die Gegenstände sehen vollständig so aus, als wären sie auf eine ebene Tafel gemalt. Durch die bei dem Galilei'schen Fernrohre jetzt sehr gebräuchliche Verbindung von zwei Fernröhren erhält man allerdings für die näheren Gegenstände eine gewisse Anschauung des Reliefs, weshalb die doppelten Operngläser schon einen viel lebendigeren Eindruck geben, als ein einzelnes. Aber bei der gebräuchlichen Construction dieser Instrumente ist das Relief falsch, die Gegenstände erscheinen nach der Tiefendimension des Gesichtsfeldes zu kurz, als wären sie plattgedrückt. Bei menschlichen Gesichtern, zu deren Betrachtung die doppelten Operngläser doch hauptsächlich

bestimmt sind, ist dies sehr auffallend. Wenn man sie von vorn betrachtet, sehen sie viel platter aus, als sie sind, und wenn man sie im Profil erblickt, sehen sie zu schmal und spitz aus. In beiden Fällen wird der Ausdruck des Gesichts wesentlich verändert.

Wenn man ein doppeltes Opernglas umdreht, und durch die Objectivgläser hineinsieht, erscheinen dagegen die Tiefendimensionen der Gegenstände unverhältnißmäßig vergrößert. Während also durch ein einfaches Fernrohr alle Gegenstände wie Gemälde erscheinen, sieht man durch ein doppeltes Opernglas volle Gegenstände wie Basreliefs, und durch dasselbe Opernglas in umgekehrter Haltung wirkliche Basreliefs wie Hautreliefs.

Auch theoretisch findet man leicht aus den bekannten Gesetzen der Fernröhre und des stereoskopischen Sehens, daß ein Doppelfernrohr, dessen optische Axen parallel und genau um den Abstand der beiden Augen des Beobachters von einander entfernt sind, welches, n Mal vergrößert, die Gegenstände so erscheinen läßt, als wären alle senkrecht zur Axe des Fernrohrs gerichteten Dimensionen unverändert geblieben, die Entfernungen der Gegenstände vom Beobachter, parallel der optischen Axe, dagegen auf $\frac{1}{n}$ reducirt, so daß der Beobachter die Gegenstände in natürlicher Größe, aber genähert, und nach der Tiefendimension des Gesichtsfeldes comprimirt zu sehen glaubt.

Während jedes einzelne Fernrohr dem Beobachter den Gegenstand so zeigt, wie er in $\frac{1}{n}$ der Entfernung erscheint, sind doch die Verschiedenheiten der perspectivischen Ansicht beider Augen nicht so groß, wie sie sein würden, wenn der Beobachter sich dem Gegenstande wirklich bis auf $\frac{1}{n}$ der Entfernung genähert hätte. Durch Verbindung eines Doppelfernrohrs mit einem Telestereoskop von parallelen Spiegelpaaren wird dieser Fehler nicht

beseitigt; es tritt nur eine gleichmäßige weitere Reduction aller scheinbaren liniaren Dimensionen, wie sie das Doppelfernrohr zeigt, ein. Wohl aber kann man für einzelne Gegenstände, die in bestimmter Entfernung stehen, ein richtiges Relief gewinnen, indem man die kleinen Spiegel unter 45° stehen läßt, und die großen allein unter einem etwas kleineren Reflexionswinkel als 45° reflectiren läßt. Dadurch gewinnt man, wie vorher erwähnt worden, im einfachen Telestereoskop allein, ohne vergrößernde Gläser ein übertriebenes Relief, und kann dadurch den entgegengesetzten Fehler der Fernrohrverbindung corrigiren.

Sechstes Kapitel.

Von den Fernröhren.

§. 139. Von den Fernröhren im Allgemeinen.

Unter einem Fernrohre versteht man ein optisches Werkzeug, womit man entfernte Gegenstände nahe deutlich und vergrößert sehen kann. Es hat die Form einer Röhre, in welche die erforderlichen Linsengläser eingesetzt sind, daher der Name Fernrohr, oder Tubus. Man hat verschiedene Arten derselben, welche auch mit verschiedenen Namen bezeichnet werden, namentlich zerfallen sie in zwei Classen, in Refractoren, bei welchen das Hauptbild durch eine Glaslinse erzeugt wird, und in Reflectoren, welche statt dieser Glaslinse einen Hohlspiegel haben. Doch giebt man diesen Namen nur den vorzüglicheren Werkzeugen, ebenso, wie man unter Teleskop nur ein vorzüglich gutes und viel leistendes Fernrohr versteht. Den Namen Perspectiv giebt man in der Regel nur den geringfügigen Fernröhren.

§. 140. Das astronomische Fernrohr.

Das einfachste Fernrohr ist offenbar das astronomische, welches von Kepler erfunden worden ist und deshalb so benannt wird, weil es am meisten zu Beobachtungen am Himmel gebraucht wird. Es besteht aus zwei Sammelgläsern MN und PQ (Taf. XXII, Figur 1). Das Glas MN, welches dem Gegenstande zugekehrt ist, und eine lange Brennweite hat, heißt Objectivglas, das am Auge befindliche, PQ, Ocular- oder Augenglas, dessen Brennweite kurz ist. Beide sind zu einander parallel und so aufgestellt, daß sie die Axe VW gemeinschaftlich haben und um die Summe ihrer Brennweiten abstehen. Ein sehr entfernter Gegenstand FE sende nun seine Strahlen auf das Objectiv MN, so entwirft dieses in seinem Brennpunkt ein umgekehrtes Luftbild fe des Gegenstandes Ef, welches durch das Ocular PQ wie durch eine Loupe betrachtet wird. Wenn daher ein Auge durch Parallelstrahlen deutlich sieht, so muß das Bild fe in den Brennpunkt des Oculars PQ zu liegen kommen, damit die Strahlen beim Austritt aus dem Ocular unter sich parallel werden können. Ein kurzsichtiges Auge müsse das Ocular etwas näher an das Bild anrücken und ein weitsichtiges etwas weiter davon entfernen. — Hieraus ist nun zunächst klar, daß durch ein astronomisches Fernrohr die Gegenstände umgekehrt gesehen werden, weil das umgekehrte Bild fe durch das Augenglas PQ unmittelbar betrachtet wird.

Wenn der Gegenstand nicht mehr so weit entfernt ist, daß die von einem Punkte desselben ausfahrenden Strahlen als unter sich parallel angesehen werden dürfen, so fällt sein Bild über den Brennpunkt f des Objectivs hinaus, daher man auch das Augenglas weiter vom Objectivglas abrücken muß, so weit, bis sein Brennpunkt in den Ort des Bildes fällt und dieses wieder deutlich gesehen werden kann. Daher ist bei jedem Fernrohr wenigstens die Röhre verschiebbar, in welcher sich

das Augenglas befindet, damit man diesem in jedem Falle die rechte Entfernung vom Oculare geben kann.

Das astronomische Fernrohr ist dasjenige, an welchem man die Eigenschaften eines Fernrohrs überhaupt, sowie die Bedingungen seiner Güte am besten kennen lernen kann, daher wir es auch zuerst beschreiben wollen, obgleich es nicht zuerst erfunden wurde.

§. 141. Vergrößerung.

Das astronomische Fernrohr vergrößert den Sehwinkel so viel mal, als die Brennweite des Augenglases in der des Objectivs enthalten ist. Wir haben nämlich gesehen, daß, wenn ein Auge im Mittelpunkte V des Objectivs stehen würde, ihm der Gegenstand FE und sein Bild fe unter gleichem Sehwinkel erscheinen müßten, weil der Strahl EVea, der durch die Mitte des Objectivs geht, nicht gebrochen wird; mittelst des Fernrohrs aber erscheint das Bild unter dem Winkel aOW = eWf, nämlich gerade so, als ob es aus der Mitte W des Glases PQ betrachtet würde. Wenn daher, wie es beim Fernrohre Bedingung ist, fW kleiner ist, als Vf, so ist der Winkel fWe größer, als der Winkel fVe oder als EV, und zwar in eben dem Verhältniß, als Vf größer ist, als Wf, so lange nur kleine Winkel in Betracht kommen. Wenn man daher untersucht, wie oft die Brennweite Wf des Augenglases in Vf, der Brennweite des Objectivs enthalten ist, so giebt der Quotient zugleich an, wie viel mal der Winkel fVe oder EVf durch das Fernrohr vergrößert wird, indem das Object unter dem Winkel fWe erscheint.

Da man mit Fernröhren nur sehr entlegene Gegenstände betrachtet, und die Länge des Rohrs nur gering ist im Vergleiche zur Entfernung der Objecte, so ist es gleichgültig, ob man das Auge um die Länge des Fernrohrs vorwärts bewegt oder zurückzieht; das Object wird in beiden Fällen unter demselben Sehwinkel erscheinen.

so daß man den Winkel EVf = fVe als den Winkel annehmen kann, unter welchem der Gegenstand mit bloßem Auge gesehen wird. Daher vergrößert das Fernrohr so vielmal, als der Winkel fWe größer ist, als fVe, oder als Vf größer als Wf, oder so vielmal, als die Brennweite des Augenglases in der des Objectivs enthalten ist.

Hieraus würde nun unmittelbar folgen, daß ein Fernrohr stark vergrößern müsse, wenn die Brennweite des Objectivs sehr lang und die des Oculars sehr kurz wäre; denn dann müßte man eine ungemein starke Vergrößerung erhalten. Hat man ein Fernrohr, dessen Objectiv 30 Fuß = 360 Zoll Brennweite hat, und man nimmt dazu ein Augenglas von $\frac{1}{4}$ Zoll Brennweite, so würde man eine 1440fache Vergrößerung des Sehwinkels erhalten. Man hat aber gefunden, daß, wenn das Fernrohr noch die erforderliche Deutlichkeit besitzen soll, man die Brennweite des Augenglases nicht unter 3,3 Zoll nehmen darf, so daß die Vergrößerung nur $\frac{360}{3,3}$ d. i. etwa nur 109fach ist.

Uebrigens würde man schon eine Vergrößerung erhalten, wenn man das Bild fe mit bloßem Auge betrachtete, vorausgesetzt, daß die Brennweite Vf des Objectivs größer ist, als die Weite des deutlichen Sehens, etwa 8 Zoll, weil dann offenbar auch der Sehwinkel des Bildes fe größer ist, als der Winkel fVe, unter welchem der Gegenstand mit bloßem Auge gesehen wird und zwar so viel mal, als die Weite des deutlichen Sehens in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. So konnte Tschirnhausen an den Bildern, die seine großen Objectivgläser im verfinsterten Zimmer gaben, die Blätter der Bäume erkennen, welche auf 1 Meile entfernt waren, und Herschel sah ganz deutlich den Ring des Saturn an dem Bilde, das der Spiegel seines großen 40füßigen Teleskops von diesem Planeten hervorbrachte.

Ist p die Brennweite des Objectivs, p' die des Oculars, so hat man für die Vergrößerung des Fernrohrs, die wir mit m bezeichnen wollen, die Formel:

$$m = \frac{p}{p'}.$$

§. 142. Das Gesichtsfeld.

Unter dem Gesichtsfelde versteht man den Sehwinkel des Gegenstandes, den man eben durch ein Fernrohr noch übersehen kann. Hätte man z. B. ein Fernrohr, welches den Mond gerade faßte, so daß dessen Rand den Rand des Augenglases berührte, so würde das Gesichtsfeld dieses Fernrohrs einen halben Grad betragen, weil der Mond, mit bloßem Auge gesehen, unter diesem Winkel erscheint. Hieraus ergiebt sich leicht, wie man das Gesichtsfeld für ein gegebenes Fernrohr durch Zeichnung bestimmen kann. Man ziehe nämlich von den äußersten Rändern A und B des Augenglases nach der Mitte des Objectivs gerade Linien AV, BV (Taf. XXII, Fig. 2), so ist der Winkel AVB offenbar die Größe des Gesichtsfeldes. Denn man kann die Linien AV, BV als die durch die Mitte des Objectivs gehenden äußersten Strahlen des Gegenstandes GF ansehen, und da sie gerade am Rande des Oculars vorbeigehen, so kann man die Punkte F und G eben noch sehen, aber von den Punkten f und g können die Strahlen fV und gV nicht mehr ins Auge gelangen. Daher ist der Winkel FVG oder AVB der größte, den man durch das Fernrohr noch übersehen kann und daher dessen Gesichtsfeld.

Will man also das Gesichtsfeld durch Zeichnung bestimmen, so zeichnet man ein gleichschenkliges Dreieck ABV, dessen Grundlinie der Oeffnung AB des Oculars und dessen Höhe dem Abstande beider Gläser, also der Summe ihrer Brennweiten gleich ist; der Winkel an der Spitze ist das Gesichtsfeld. Hieraus geht hervor, daß die Oeffnung des Objectivs MN nichts beiträgt zur

Größe des Gesichtsfeldes, daß dieses aber zunimmt, wenn die Oeffnung AB des Oculars zunimmt und abnimmt bei wachsender Länge des Rohrs.

Ein großes Gesichtsfeld gehört zu den ersten Bedingungen eines guten Fernrohrs, weil es offenbar dem Beobachter wünschenswerth sein muß, daß er viel Gegenstände mit einem Male überblickt. Das erste Mittel, ein großes Gesichtsfeld zu erhalten, ist das, daß man die Oeffnung des Oculars recht groß macht, aber es giebt auch hier eine Grenze, wenn nicht die Undeutlichkeit und die Verzerrung der Gegenstände am Rande zu groß und unerträglich werden soll. Man hat durch Versuche gefnnden, daß man die Oeffnung eines Augenglases, wenn es gleichseitig convex oder planconvex ist, nicht größer machen darf, als dessen halbe Brennweite, und hiernach bestimmt sich folglich das möglichst größte Gesichtsfeld, welches bei einem Fernrohre zu erreichen ist.

Wenn die Brennweite des Oculars abnimmt, so nimmt auch in demselben Verhältnisse die Oeffnung ab, die man ihm geben kann, und folglich auch das Gesichtsfeld. Aus dem Früheren folgt aber, daß die Vergrößerung zunimmt in eben dem Verhältniß, als die Brennweite des Oculars abnimmt, und folglich nimmt das Gesichtsfeld bei wachsender Vergrößerung in gleichem Maße ab. Starke Vergrößerungen sind also immer mit einem kleinen Gesichtsfelde verbunden.

Aus der Oeffnung des Oculars, dessen Brennweite und der Brennweite des Objectivs läßt sich die Größe des Gesichtsfeldes berechnen. Ist nämlich die Oeffnung des Oculars z, so ist die Größe des Gesichtsfeldes

$$\frac{3488\,z}{p + p'} \text{ Minuten,}$$

oder

$$\frac{3488\,z}{p'\,(m + 1)} \text{ Minuten,}$$

wo p, p' und m die §. 141 angeführte Bedeutung haben.

Ist z. B. die Brennweite des Objectivs p = 24 Zoll, die des Oculars = $1\frac{1}{2}$ Zoll, so ist die Vergröße-

rung $m = \frac{24}{1\frac{1}{2}} = 16$ mal und wenn man die Oeffnung z des Objectivs $= \frac{3}{4}$ Zoll nimmt, so erhält man für das Gesichtsfeld

$\frac{3488 \times \frac{3}{4}}{1\frac{1}{2} \cdot (16 + 1)} = \frac{1719}{17} = 101\frac{2}{17}$ Minuten, welches als ein großes gilt. Macht man zum Gesetz, daß die Oeffnung des Oculars stets der halben Brennweite gleich sein soll, $z = \frac{1}{2}\,p'$, so erhält man für das Gesichtsfeld eines astronomischen Fernrohrs den Ausdruck

$$\frac{1719}{m + 1} \text{ Minuten.}$$

Da ein großes Gesichtsfeld eine Hauptbedingung für ein gutes Fernrohr ist, so hat man statt eines Oculars mehrere eingesetzt, um unter andern Vortheilen, die hier noch nicht erklärt werden können, auch das Gesichtsfeld zu vergrößern. Die einfachste Vorrichtung der Art ist die, daß man zum Oculare zwei biconvexe Linsen nimmt, die gleiche Brennweite haben und hart an einander gestellt sind. Wir wissen, daß eine solche Vorrichtung eben so wirkt, wie ein Sammelglas von nur halb so großer Brennweite, daher man die Vergrößerung findet, wenn man mit der halben Brennweite einer Ocularlinse in die Brennweite des Objectivs dividirt. Für die Vergrößerung wird hierdurch nichts gewonnen, denn die Brennweite des zusammengesetzten Oculars darf nicht geringer sein, als die des einfachen, welches man mit einem gegebenen Objective verbinden darf, aber das Gesichtsfeld kann doppelt so groß gemacht werden, als es bei einem einfachen Oculare sein würde; denn da die Brennweite einer jeden Linse des Doppeloculars doppelt so groß ist, als die des einfachen, so kann auch die Oeffnung, welche immer der halben Brennweite einer Linse gleich genommen werden kann, verdoppelt werden, wodurch natürlich das Gesichtsfeld auch verdoppelt wird.

Wir sehen, daß für die richtige Beurtheilung der Winkel eines Fernrohrs die Strahlen, welche durch die

Mitte der Objectivlinse gehen, große Bedeutung haben und vor den übrigen besonders wichtig sind. Man hat sie daher Hauptstrahlen genannt, welches Ausdrucks wir uns auch in der Folge oft bedienen werden.

§. 143. Ort des Auges und Oculardeckels.

Es entsteht die Frage, wo man eigentlich das Auge hinhalten müsse, um das ganze Gesichtsfeld, d. h. so viel als möglich zu übersehen; denn man wird finden, daß auf die richtige Entfernung des Auges vom Oculare gar viel ankommt.

Die Antwort ist leicht zu geben; es muß nämlich das Auge O in dem Punkte der Axe stehen, wo sich die äußersten Hauptstrahlen FVB, GVA (Taf. XXII, Fig. 2) mit der Axe vereinigen, denn dort vereinigen sich sehr nahe auch die Hauptstrahlen aller Punkte des Objectes und es erhält das in O befindliche Auge Strahlen von allen Punkten des Objects, selbst diejenigen, die durch den Rand des Oculars hindurch gehen.

Wie weit der Punkt O vom Ocular entfernt liegt, ergiebt sich leicht daraus, daß O nichts anderes ist, als der Vereinigungspunkt für die Strahlen, welche aus dem Punkte V der Axe zu kommen scheinen, und durch das Ocular AB gebrochen werden. Multiplicirt man also die Entfernung des Punktes V vom Glase AB, d. h. die Distanz beider Linsen des Fernrohrs mit der Brennweite dieses Glases und dividirt das Product durch den Unterschied beider Größen, so ist der Quotient der Entfernung WO des Auges von Oculare gleich. Kürzer findet man indeß WO durch die Regel: es ist WO gleich der Brennweite des Oculars und einem so vielsten Theile derselben, als das Fernrohr vergrößert.

Ist z. B. die Brennweite des Oculars 2 Zoll und vergrößert das Fernrohr 12 mal, so ist die Entfernung

des Auges = 2 + $\frac{2}{12}$ Zoll = $2\frac{1}{6}$ Zoll. Der Ort des Auges ist durch eine Formel ausgedrückt

$$p' + \frac{p'}{m}.$$

Denn für den Strahl VA ist der Abstand vom brechenden Glase VW = p + p', die Brennweite dieses Glases = p' und der Unterschied beider Größen = p,

$$\text{daher } WC = \frac{p'(p + p')}{p} = p' + \frac{p'}{p} \cdot p';$$

aber $\frac{p'}{p}$ = m und daher die obige Formel.

Damit man den richtigen Ort des Auges, wenn man in's Fernrohr hineinsehen will, ohne Mühe gleich treffe, so hat die Röhre über das Ocular hinaus noch eine Verlängerung, welche bis nahe an den Punkt O geht und daselbst nur eine enge Oeffnung hat, die nicht viel größer zu sein braucht, als die Pupille des Auges. Es ist auch einleuchtend, daß das Auge nicht in O zu stehen braucht, sondern so weit in den Strahlenkegel AOB hereingerückt werden kann, bis der Durchschnitt VW der Oeffnung der Pupille gleich wird. Daher geht der Fortsatz der Ocularröhre bei stark vergrößernden achromatischen Fernröhren, bei denen WO nur gering ist, nur bis zur Mitte von WO und hat daselbst einen Deckel mit einem kleinen Loche, welcher der Oculardeckel genannt wird.

§. 144. Lichtstärke des Fernrohrs.

Es ist ohne Weiteres begreiflich, daß die Menge des Lichtes, welches in ein Fernrohr eindringen kann, abhängig ist von der Größe der Oeffnung des Objectivs und zwar im Verhältnisse des Quadrats dieser Oeffnung sein wird, weil die Fläche des Objectivs, wornach sich eigentlich die eindringende Lichtmenge richtet, in eben diesem Verhältnisse steht.

Es seien nun ZE und ze (Taf. XXII, Fig. 3) unter allen den Strahlen, welche von einem Punkte auf das Objectiv fallen, die äußersten und F der gemeinschaftliche Brennpunkt beider Linsen, so kommen hier selbst alle Strahlen wieder zusammen und sind in dem Kegel EFe enthalten. Aber von F zerstreuen sie sich wieder in einen Kegel Fgh, dessen Grundfläche auf dem Augenglase liegt, und werden endlich durch dieses Glas so gebrochen, daß sie parallel werden und einen Cylinder gihk bilden. In diesem sind, wie man leicht sieht, die Strahlen weit mehr zusammengedrängt, als am Objectiv und daher auch dichter, und die Dichtigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Flächen, auf welche das Licht verbreitet ist.

Es verhält sich der Durchmesser gh der Grundfläche des Kegels gFh oder der Durchmesser ik jedes senkrechten Durchschnittes des Strahlencylinders gikh zu dem Durchmesser Ee des Objectivs, wie FW zu FV, nämlich wie die Brennweite des Oculars zu der des Objectivs, also wie 1 zu der Vergrößerungszahl, und es ist daher gh ein so vielster Theil von Ee, als das Fernrohr vergrößert, oder es ist $ik = \frac{x}{m}$, wenn $Ee = x$ ist und m die Vergrößerungszahl bedeutet. Dieser Satz gilt für jedes Fernrohr, es mag aus so viel Gläsern bestehen, als es will.

Damit nun der Strahlencylinder ighk vom Auge aufgefaßt werden könne, muß sein Durschschnitt ik so groß sein, als die Pupille, weil er, wenn er größer wäre, zum Theil nicht in's Auge gelangen könnte und daher ein Theil das vom Objectiv aufgenommenen Lichts unnütz werden würde. Man hat durch Versuche gefunden und nimmt es in der Optik allgemein an, daß der Oeffnungsdurchmesser der Pupille, welcher bei verschiedenem Lichtreize sich ändert, in der Mitte $\frac{1}{10}$ Zoll betrage, und daher muß die Einrichtung des Fernrohres so getroffen werden, daß $ik = \frac{1}{10}$ Zoll, oder $\frac{x}{m} = \frac{1}{10}$

Zoll wird, wobei die Oeffnung x des Objectivs in Zollen auszudrücken ist. Hieraus folgt, daß $m = 10x$ ist, nämlich man muß die in Zollen ausgedrückte Oeffnung des Objectivs mit 10 multipliciren, wenn man diejenige Vergrößerung erhalten will, bei welcher der Durchschnitt des Strahlencylinders am Auge der Pupille gleich wird.

Die Stärke des Lichtes muß nach der Fläche gemessen werden, auf welcher es sich verbreitet; je kleiner diese ist, desto größer ist die Lichtstärke. Die Flächen des Durchschnittes ik und des Objectivs sind im Verhältnisse der Quadrate ihrer Durchmesser, nämlich im Verhältnisse x^2 zu $\frac{x^2}{m^2}$, also ist die Durchschnittsfläche des Cylinders ghik, mm mal kleiner, als die Fläche des Objectivs und daher die Lichtstärke mm mal größer. Hiernach könnte es scheinen, als ob man die Gegenstände im Fernrohre mm mal heller sähe, als mit bloßem Auge, allein man muß überlegen, daß das Fernrohr die Längendimensionen m mal, also die Flächen mm mal vergrößert, wodurch das vorher mm mal vermehrte Licht wieder mm mal vermindert wird, welches sich gerade aufhebt.

Hiernach müssen wir die Lichtstärke in dem Strahlencylinder gihk im Bezug auf unsere Empfindung der an der Fläche des Objectivs gleich setzen, so daß nämlich der Lichtcylinder gihk keinen andern Reiz in unserm Auge verursacht, als ein vom Objecte unmittelbar in's Auge gelangender gleich starker Cylinder. Wenn daher der Durchschnitt ik der Oeffnung der Pupille gleich ist, so wird auch die Helligkeit durch's Fernrohr der mit bloßen Augen gleich werden; wäre aber ik größer als die Pupille, so würde der Ueberschuß der Strahlen gar nicht in's Auge dringen können und daher immer noch die Helligkeit der natürlichen, d. h. der mit bloßen Augen gleich sein.

Wenn aber ik kleiner ist, als die Oeffnung des Auges, so wird die Helligkeit auch kleiner sein, als die

mit bloßen Augen, weil dann die Pupille einen stärkern Lichtcylinder fassen könnte, und zwar nimmt die Helligkeit in eben dem Grade ab, als das Quadrat von ik kleiner ist, als das Quadrat der Oeffnung der Pupille.— Daher ist keine Vorrichtung durch Gläser denkbar, bei welcher die Helligkeit größer würde, als mit bloßen Augen. Indessen möchte dieser Schluß doch nicht in aller Strenge gelten können, weil sonst nicht zu begreifen wäre, wie Herschel mit seinem 20füßigen Teleskope in einer Nacht, wo man mit bloßem Auge nichts sehen konnte, doch die Thürme der Stadt erkannte.

Da die Helligkeit ein nothwendiges Erforderniß eines guten Fernrohrs ist, so wird man die Vergrößerung nie zu weit treiben dürfen, damit ik nicht zu klein werde und die Helligkeit zu sehr abnehme, am rathsamsten wäre es daher, ik dem Durchmesser der Pupille $= \frac{1}{10}$ Zoll zu machen, damit die Gegenstände eben so hell erscheinen, als mit bloßem Auge. Es müßte daher $\frac{x}{m} = \frac{1}{10}$ sein, allein man wird sich oft nur damit begnügen müssen, daß $\frac{x}{m} = \frac{1}{20}, \frac{1}{30},$ selbst $\frac{1}{40}$ wird.

Nach Euler darf $\frac{x}{m} = \frac{1}{25}$ sein, und darnach bestimmt sich also die Vergrößerung, die man bei einem Objective anbringen kann, wenn man dessen in Zollen ausgedrückte Oeffnung mit 25 multiplicirt. Hätte z. B. das Objectiv eine Oeffnung von 4 Zollen, so dürfte die Vergrößerung $4 \times 25 = 100$fach sein. Es kommt dabei freilich viel auf die Erleuchtung der Gegenstände selbst an und namentlich darauf, ob sie selbstleuchtend sind oder nicht. Auf Gegenstände der Erde wird man daher nie so starke Vergrößerungen anwenden können, als auf die Gestirne, und unter diesen ertragen Fixsterne eine stärkere Vergrößerung, als die Planeten. Kleine Sternchen, z. B. die Jupiterstrabanten, kleine Kometen erfor-

dern Fernröhre mit großen Oeffnungen, ohne eben starke Vergrößerungen.

Die Lichtstärke eines Fernrohrs schätzt man durch Vergleichung des Durchschnitts i k mit der Oeffnung der Pupille $\frac{1}{10}$ Zoll; sie steht, wie wir schon gesehen haben, im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate dieser Größen und wird daher ausgedrückt durch

$$\frac{100\ x\ x}{m\ m},$$

wobei die Helligkeit mit bloßen Augen als Einheit vorausgesetzt wird.

In dem vorher erwähnten Fernrohre z. B. war $x = 3$ Zoll, $m = 109$, daher die Lichtstärke nahe $= \frac{1}{13}$ von der mit bloßen Augen, welches freilich wenig ist.

§. 145. Mängel des astronomischen Fernrohrs wegen der Farbenzerstreuung.

Die Farbenzerstreuung ist das größte Hinderniß für alle dioptrischen Fernröhre und verursacht eine Undeutlichkeit, welche uns nöthigt, die Länge des Rohres selbst bei nicht gar starken Vergrößerungen bis auf eine erstaunliche Größe auszudehnen. Sie verursacht, wie wir in §. 80 früher gesehen haben, daß die verschiedenen Strahlen in zusammengesetztem Licht in verschiedenen Punkten der Axe sich vereinigen, z. B. die rothen in r (Taf. XXII, Fig. 3) und die violetten in v, und es kann daher unmöglich das Augenglas W so gestellt werden, daß es alle Strahlen unter sich parallel mache, denn wenn sein Brennpunkt in F fällt, wo die gelbgrünen Strahlen durch das Objectiv gesammelt werden, so werden zwar diese parallel werden, aber die violetten müssen convergirend, die rothen divergirend aus dem Augenglase heraustreten. Das Augenglas vermehrt die Zerstreuung noch um etwas, aber nicht bedeutend, daher man auch meistentheils die Ocularzerstreuung unberücksichtigt läßt. Denn hätte das Ocular gar keine Farben-

zerstreuung, so würde es z. B. seine violetten Brennpunkte ebenfalls in F haben, und die aus dem violetten Brennpunkte v des Objectivs kommenden Strahlen so brechen, wie es seiner Brennweite und dem Abstande vW angemessen ist. Aber die Brennweite Wv′ der violetten Strahlen des Oculars ist kürzer, als die der mittlern, daher die von v kommenden violetten Strahlen auch stärker gebrochen werden, als wenn das Ocular gar keine Farben zerstreute.

Wenn nun das Ocular so gestellt ist, daß der Gegenstand am deutlichsten erscheint, so treffen die Brennpunkte der mittlern Strahlen von beiden Gläsern in F zusammen und die übrigen zerstreuen sich in dem Abweichungskreise, dessen Halbmesser FR wir früher bestimmt haben, und der an seinem Rande einen farbigen, rothen oder violetten Saum hat, je nachdem das Ocular dem Objectiv etwas näher oder ferner steht. Dieser Abweichungskreis, in welchen das Bild eines Punktes sich zerstreut, läßt sich auch betrachten als das Bild eines Objects, welches entstehen würde, wenn das Objectiv gar keine Farbenabweichung hätte und der Winkel, unter welchem dieses Object vom Mittelpunkte des Glases aus erscheinen würde, wäre FVR; durch das Ocular gesehen, wird dieser Winkel so vielmal vergrößert, wie jeder andere Sehwinkel und kann daher sehr groß erscheinen, wenn er gleich an sich nur gering ist. Nach dem Winkel FWR, unter welchem der Abweichungskreis durch das Ocular erscheint, und welcher der nach Maßgabe der Vergrößerung des Fernrohrs vergrößerte Winkel FVR ist, wird die Undeutlichkeit geschätzt, welche von der Farbenzerstreuung hervorgebracht wird.

Der Winkel FWR (Taf. XXII, Fig. 3) kann mehrere Minuten betragen, ohne daß die Undeutlichkeit des Fernrohrs unerträglich wird, obschon, wie sich von selbst versteht, die Gegenstände desto deutlicher erscheinen, je kleiner jener Winkel ist. Zum höchsten darf er einen halben Grad betragen, welches schon ziemlich viel ist. Aber trotzdem muß bei starken Vergrößerungen die Länge

des Rohres doch ungemein lang werden, wenn die Farbenabweichung nicht allzu groß werden soll, weil der Winkel FWR ungefähr in eben dem Verhältnisse wächst, wie die mit sich selbst multiplicirten Vergrößerungszahlen, und nur in dem Verhältnisse abnimmt, wie die Brennweite des Objectivs zunimmt, daher die Zunahme der letztern im Verhältnisse der mit sich selbst multiplicirten Vergrößerungszahlen sein muß.

Denken wir uns nämlich zuerst, die Vergrößerungen sollten sämmtlich mit einem Objective von derselben Brennweite zu Stande gebracht werden, so ist klar, daß, wenn die Helligkeit in allen Fällen dieselbe bleiben soll, auch die Dicke ik des Strahlencylinders ghki am Auge dieselbe bleiben muß, und da ik zunimmt, wie die Oeffnung abnimmt, aber wie die Vergrößerung wächst, §. 144, so muß für eine doppelt so starke Vergrößerung das Objectiv auch die doppelte Oeffnung bekommen, für eine dreimal so starke Vergrößerung die dreifache Oeffnung u. s. w.; überhaupt müssen sich die Oeffnungen des Objectivs, wie die Vergrößerungszahlen verhalten. In eben dem Verhältnisse steht auch der Halbmesser FR des Abweichungskreises und der Winkel FVR. Aber der Halbmesser FR wird unter dem Winkel FWR gesehen, welches der 10, 20, 30 mal u. s. w. vergrößerte Winkel FVR ist, wenn m das Fernrohr 10, 20, 30 mal u. s. w. vergrößert, und hieraus ist klar, daß, wenn z. B. bei 10maliger Vergrößerung der Winkel FWR = 15 Minuten wäre, er bei 30maliger 3 • 3 • 15 = 136 Minuten u. s. w. werden würde, oder überhaupt wachsen muß, wie die Quadrate der Vergrößerungszahlen.

Aber der Winkel FAR und folglich FWR nimmt ab, wie die Brennweiten Vf des Objectivs zunehmen, und wenn diese Abnahme die Zunahme durch die Vergrößerungen wieder aufheben soll, so muß eben die Brennweite in dem Maße verlängert werden, als die mit sich selbst multiplicirte Vergrößerungszahl wächst, und dann hat in allen Fernröhren der W. FWR gleiche Größe, oder die Undeutlichkeit und Deutlichkeit ist gleich

groß. — Bei dieser Betrachtung ist jedoch die Zerstreuung des Oculars nicht mit gerechnet, und in der That beträgt sie so wenig, daß sie immer gegen die weit größere Zerstreuung des Objectivs außer Acht gelassen werden kann.

Wenn nun z. B. das Hugeniani'sche Fernrohr bei einer Länge von 30 Fuß 109mal vergrößerte, ohne daß die Farbenabweichung unerträglich wäre, so wird zu einer doppelt so starken Vergrößerung ein Objectiv von $4 \times 30 = 120$ Fuß gehören, und dann würde der Winkel **FWR** noch eben so groß sein, als im ersten Fernrohre. Hieraus sieht man, wie lang man die Fernröhre machen muß, wenn man dem Einflusse der Farbenzerstreuung zuvorkommen will.

Bei verschiedenen Fernröhren müssen sich also die Brennweiten der Objective wie die Quadrate der Vergrößerungszahlen, die Oeffnungen derselben wie die Vergrößerungszahlen selbst verhalten. Nach dieser Regel hat Huyghens eine Tabelle berechnet, aus welcher man abnehmen kann, wie weit man die Vergrößerung bei einem Objective von gegebener Brennweite treiben dürfe, und es liegt dabei sein oft genanntes Fernrohr mit einem Objective von 30 Fuß Brennweite und 3 Zoll Oeffnung und einem Oculare von $3\frac{3}{10}$ Zoll Brennweite zu Grunde. Bei allen diesen Fernröhren wird der Winkel **FWR**, unter welchem der Halbmesser des Abweichungskreises gesehen wird, 28,6 Minuten. Die Tabelle ist folgende:

§. 146. Huyghen's Tabelle zur Berechnung des Objectivs.

Brennweite des Objectivs. Zoll.	Brennweite des Oculars. Zoll.	Halbe Oeffnung des Objectivs. Zoll.	Vergrößerung.
12	0·61	0·27	20
36	1·05	0·47	34
60	1·35	0·61	44
72	1·47	0·67	49
96	1·71	0·77	56
120	1·90	0·86	63
156	2·17	0·98	72
240	2·70	1·22	89
360	3·30	1·50	109
420	3·56	1·62	118
540	4·04	1·83	133
600	4·26	1·93	141
960	5·39	2·45	178
1200	6·03	2·74	199

Man sieht also hieraus, daß man mit einem Objective von 100 Fuß Brennnweite nahe eine 200malige Vergrößerung erhalten kann.

§. 147. Abweichung von der Kugelgestalt und Halbmesser der Undeutlichkeit.

Wir haben früher gesehen, daß durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt die Strahlen, welche von einem und demselben Punkte eines Gegenstandes ausgehen, vom Objective nicht wieder genau in einem Punkte gesammelt, sondern gleichfalls in einen Kreis

zerstreut werden, dessen Halbmesser F R sein mag (Tafel XXII, Fig. 3). Wir wissen auch, daß es hier einen kleinsten Abweichungskreis giebt, der alle Strahlen, die von einem Punkte auf das Objectiv fallen, faßt und haben ihn zum Maße für die Undeutlichkeit wegen der Kugelabweichung genommen. Es sei daher F R der Halbmesser dieses kleinsten Abweichungskreises. Wir können ihn als das Bild eines Objectes betrachten, welches vom Mittelpunkte des Objectivs aus gesehen unter dem Winkel FAR erscheint, durch das Ocular aber unter dem in eben dem Maße vergrößerten Winkel F W R gesehen wird, als das Fernrohr die Gegenstände überhaupt vergrößert. Diesen Winkel nennen wir den Halbmesser der Undeutlichkeit, und die Beobachtungen haben gezeigt, daß er nicht leicht über eine Sekunde gehen darf, wenn der Deutlichkeit des Bildes kein Eintrag geschehen soll, woraus man auch abnehmen kann, wie groß höchstens der Winkel FVR sein dürfe. Der Halbmesser der Undeutlichkeit wird noch etwas vermehrt durch die Abweichung des Oculars, allein der Antheil desselben ist nur etwa dem Winkel FVR gleich und kann also bei starken Vergrößerungen gänzlich außer Acht gelassen werden.

Damit nun der Halbmesser der Undeutlichkeit nicht zu groß werde, muß man die Brennweite des Objectivs bei einer gegebenen Oeffnung desselben hinlänglich groß nehmen, oder umgekehrt, bei gegebener Brennweite die Oeffnung im richtigen Maße verkleinern. Daher man den Rand des Objectivs mit einem Ringe von Pappe, Holz und dergleichen zu verdecken pflegt, wenn die Oeffnung noch zu groß ist. Den Durchmesser der noch freien Fläche des Objectivs nennt man seine Apertur, und es ist klar, daß auch die Farbenabweichung auf ähnliche Weise, nur noch in höherem Grade, als die Kugelabweichung, die Apertur des Objectivs beschränkt. Wenn daher die Oeffnung vermittelst der vorher aufgestellten Hugeniani'schen Tafel für die Farbenabweichung richtig bestimmt ist, so ist dadurch auch zugleich

der Halbmesser der Undeutlichkeit soweit herabgebracht, daß er auf die Deutlichkeit des Bildes im Fernrohre keinen merklichen Einfluß mehr ausüben kann.

Wir wollen dieses an einem Beispiele rechnend erläutern. Es sei z. B. die Brennweite des Objectivs = 60 Zoll, so muß nach der Hugeniani'schen Tafel seine halbe Oeffnung = 0·61 Zoll sein und es ist daher in der Formel $\frac{x \cdot L}{4p}$ §. 79, wodurch der Halbmesser FR des kleinsten Abweichungskreises ausgedrückt wird p = 60, x = 0·61. Nehmen wir nun die Objectivlinse planconvex und das Brechungsverhältniß = $\frac{3}{2}$, so ist die Längenabweichung $L = \frac{7}{6} \frac{xx}{p}$, und daher der Halbmesser des kleinsten Abweichungskreises = $\frac{7 x^3}{24 p^2}$ = FR. Dividiren wir diesen durch die Brennweite VF = p des Objectives, so erhalten wir den Winkel FVR, unter denen FR aus der Mitte des Objectivs gesehen wird, daher $FVR = \frac{7 x^3}{24 p^3}$ in Theilen des Halbmessers, und es ist der Quotient $\frac{7 x^3}{24 p^3}$ nur noch mit 206265 zu multipliciren, um den Winkel FVR in Sekunden zu erhalten. Berechnen wir dieses (am leichtesten geschieht es mit Logarithmen), so erhalten wir für den Winkel FVR = 0·063 Sekunden. Den Halbmesser FR sieht man aber mittelst des Oculars unter dem Winkel FWR, welcher der 44mal vergrößerte Winkel FVR ist, da, wie aus der Hugeniani'schen Tabelle ersichtlich, ein Objectiv von 60 Zoll Brennweite eine 44fache Vergrößerung giebt. Folglich ist FWR, das ist der Halbmesser der Undeutlichkeit, = 0·063 × 44 = 2,77 Sekunden, welches noch nicht merklich wird.

Nimmt man das Objectiv und das Ocular beide gleichseitig, das Brechungsverhältniß = 1·55, so erhält man für den Halbmesser der Undeutlichkeit die Formel

$$1314 \cdot \frac{(m+1)\,x^3}{p^3} \text{ Minuten,}$$

in welcher zugleich der Antheil des Oculars mit enthalten ist; ohne diesen Antheil würde man haben

$$1314 \cdot \frac{m\,x^3}{p^3}$$

und hieraus kann man sehen, daß die Abweichung, welche durch das Ocular erzeugt wird, immer nur gegen die des Objectivs gering ist, sobald die Vergrößerungszahl m nur einigermaßen beträchtlich ist.

§. 148. Der farbige Rand.

Wenn man nach Anleitung des §. 147 die Farbenabweichung eines astronomischen Fernrohrs so gering gemacht hat, daß sie vom Auge nicht mehr empfunden wird, so gilt dieses dennoch nur von den nahe an der Axe gelegenen Punkten, aber nahe am Rande des Gesichtsfeldes wird man die Gegenstände dennoch noch gefärbt erblicken, und zwar nach außen hin mit einem violett gefärbten, nach innen mit einem rothen Bande. Diese farbigen Ränder werden durch die Zerstreuung des Oculars hervorgebracht und zwar auf folgende Weise:

Es sei VW Taf. XXII, Fig. 4 die Axe eines astronomischen Fernrohrs und VE ein Strahl, der von einem außerhalb der Axe gelegenen Punkte des Gegenstandes durch die Mitte des Objektivs geht. Da dieser keine Brechung erleidet, so kann er auch nicht in Farben zerstreut werden und kommt daher, wenn er vorher weiß war, auch weiß beim Ocular in E an. Vom Ocular aber wird er zerstreut und zwar so, daß die mittlern in dem Punkte m, die violetten in v und die rothen in r die Axe schneiden. Man sieht daher auch mehrere farbige Bilder von dem Punkte, woher der Strahl VE kommt, ein rothes in der Richtung rr′ und ein violettes in der Richtung vv′, zwischen ihnen aber vermischen sich

die farbigen Strahlen und zeigen das Bild in der natürlichen Farbe, am deutlichsten in der Richtung mm.

Hieraus erklärt sich denn, wie der violette Rand nach außen, der rothe nach innen gesehen wird. Beide Ränder sind aber, wie sich von selbst versteht, nur dann sichtbar, wenn das am Rande sichtbare Bild eines Gegenstandes nach innen sich nicht mit andern Bildern vermischt.

Die Größe des farbigen Randes mißt man durch den Winkel vEm, den die violetten Strahlen mit den mittlern am Einfallspunkte E machen, und welcher nichts anderes ist, als der Unterschied der Winkel W v E und W m E, welche eben diese Strahlen mit der Are machen. Daraus ist klar, daß man den farbigen Rand vermindern kann, wenn man die Oeffnung des Oculars vermindert, da aber hierdurch auch das Gesichtsfeld verengert wird, so kann dieses Mittel höchstens nur sehr beschränkte Anwendung finden. Aber wenn man statt eines Oculars mehrere nimmt und ihre Brennweiten, so wie ihren Abstand nach erforderlichen Verhältnissen einrichtet, so können die violetten, rothen und mittleren Strahlen nach ihrem Austritt aus dem letzten Oculare parallel werden, wodurch der farbige Rand verschwindet.

§. 149. Das Erdfernrohr (terrestrisches Fernrohr).

Die umgekehrte Lage des Bildes verursacht bei der Beobachtung der Gestirne keine Unbequemlichkeit, irdische Gegenstände wünscht man indeß doch lieber durch das Fernrohr aufrecht zu sehen. Um aber diesen Zweck zu erreichen, muß man zu dem einen Oculare des astronomischen Fernrohrs noch mehrere hinzufügen.

Das einfachste aller Erdfernröhre ist das vom Pater de Rheita erfundene, welches aus dem converen Objectiv A Taf. XXII, Fig. 5 und den drei converen Augengläsern B, C, D besteht. Die beiden ersten Gläser A

und B stehen um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab und wirken daher für sich allein gerade wie ein astronomisches Fernrohr, indem im Brennpunkte des Objectivs ein umgekehrtes Bild G von einem entlegenen Gegenstand erzeugt wird, dessen von einem und demselben Punkte ausgehende Strahlen durch das Ocular wieder unter sich parallel gemacht werden. Die beiden Gläser C und D stehen ebenfalls um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab und bilden daher gleichsam ein zweites astronomisches Fernrohr, von dem C das Objectiv, D das Ocular ist. Nämlich auf das Glas C fallen die Strahlen des Bildes G, nachdem sie durch das Ocular B gebrochen worden, gerade so, wie wenn sie von einem sehr weit entlegenen Gegenstande herkämen, und es muß daher in H, dem Brennpunkte des Glases C, ein umgekehrtes Bild des Bildes G, d. h. ein aufrechtes vom Gegenstande selbst entstehen, welches durch das Ocular D betrachtet wird und daher in dem Brennpunkte dieses Glases liegen muß.

Die drei Oculare werden in eine besondere Röhre gefaßt, welche in den Zug, welcher dem Auge zunächst liegt, eingeschoben wird. Diese Röhre kann in der Mitte aus einander geschraubt werden, und hier befindet sich das mittlere Ocular, welches in einem Ringe ruht und durch den angeschraubten andern Theil der Röhre festgehalten wird. Die beiden andern Oculare befinden sich am Ende der Röhre.

Das Ocular wird soweit in die Hülse des Fernrohrs eingeschoben, bis sie an den Ansatz O Taf. XXII, Fig. 6 stößt, in welchen man hineinsieht, und muß auf der andern Seite etwas hervorstehen, damit man sie herausziehen kann, wenn es nöthig ist, die Oculare zu reinigen.

Man zieht das Rohr so weit aus, bis man sehr entlegene Gegenstände deutlich sieht, und bemerkt den Ort, wo das Ende jeder Hülse auf der nächsten innern sich befindet, durch einen Strich, damit man jedesmal

ohne Mühe das Rohr wieder gehörig ausziehen kann. Die letzte Röhre, in welcher die Oculare sich befinden, muß dann gewöhnlich nach Beschaffenheit der Augen oder nach der Nähe des Objects noch ein wenig verrückt werden, um deutlich sehen zu können.

Man muß auch dafür Sorge tragen, daß die Axen aller Gläser genau in eine und dieselbe gerade Linie, die Axe des Rohres, fallen, weil eine Abweichung der Art dem deutlichen Sehen gar sehr hinderlich ist. Diese Absicht erreicht man dadurch, daß die Röhren genau cylindrisch und da, wo Gläser eingesetzt werden, genau gegen die Axe senkrecht abgeschnitten sind, und daß endlich jedes Glases Mitte mit der Mitte der Röhre zusammenfällt und gegen die Axe derselben senkrecht steht.

Um alles dasjenige Licht abzuhalten, welches im Rohr unordentlich zerstreut ist, und das der Deutlichkeit des Bildes nachtheilig sein würde, wenn es sich mit ihm mischte, setzt man die Blendungen, Diaphragmen, ein, welches Ringe sind, die in die Röhre an gewissen Orten eingesetzt werden und nur das dem Bilde gehörige Licht durchlassen. Solche Blendungen kann man da einsetzen, wo die äußersten Hauptstrahlen die Axe schneiden, also beim Erdrohre zwischen der Ocularen (Fig. 5) B und C in K. Dieser Punkt K ist kein anderer als derjenige, wo das Auge stehen müßte, um das Gesichtsfeld des aus den Linsen A und B bestehenden astronomischen Fernrohrs ganz zu übersehen, und kann daher nach §. 143 leicht bestimmt werden. Hier drängen sich alle Strahlen, die vom Object auf das Objectiv gefallen sind, in einen sehr engen Raum zusammen, und es kann daher auch die Oeffnung der Blendung sehr eng sein und dadurch geschickt werden, recht viele falsche Strahlen abzuhalten. Doch muß man sich hüten, daß sie nicht zu klein wird und durch Auffangen von Strahlen des Bildes der Helligkeit Eintrag thun. Man kann auch an andern Stellen der Röhre Blendungen anbringen, z. B. an dem Orte des letzten Bildes

bei H, nur dürfen sie nicht zu eng sein, daß dadurch die Helligkeit oder das Gesichtsfeld nicht leidet.

Endlich bemerken wir noch, daß man beim Erdrohre für ein gegebenes Objectiv die Vergrößerung nicht weiter treiben darf, als es ein astronomisches Fernrohr mit demselben Objective gestattet, ja man wird lieber die Vergrößerung noch etwas geringer nehmen, weil das Licht durch mehrere Gläser hindurchgehen muß und daher von seiner Intensität mehr verliert, als bei einem astronomischen Fernrohre.

§. 150. Das holländische oder Galilei'sche Fernrohr.

Dieses ist unter allen Fernröhren zuerst von holländischen Brillenmachern erfunden worden, woher es den Namen hat; nachher erhielt Galilei unbestimmte Nachricht von dieser Erfindung und brachte es durch eigenes Nachdenken heraus, und da er seine Einrichtung sogleich öffentlich bekannt machte, so wurde es nachher meistentheils nach seinem Namen benannt. Es besteht aus einem convexen Objective und einem concaven Oculare, die um die Differenz ihrer Brennweiten abstehen und stellt zwar die Gegenstände aufrecht dar, hat aber nur ein kleines und lange nicht so bequemes Gesichtsfeld, als das astronomische oder terrestrische und wird daher mit nur geringer Länge und folglich nur geringen Vergrößerungen blos als Taschenperspectiv benutzt, woher es auch den Namen Operngucker erhalten hat.

Das convexe Ocular V (Taf. XXII, Fig. 7) hat eine längere Brennweite und kann für sich allein in seinem Brennpunkte das umgekehrte Luftbild a b des Gegenstandes AB entwerfen. Ehe aber dieses Bild zur Wirklichkeit kommen kann, werden seine Strahlen von dem concaven Oculare MN aufgefangen und zum zweiten Male gebrochen. Dieses Glas ist so gestellt, daß es mit dem Objective die Axe gemein hat und daß sein

Zerstreuungspunkt mit dem Brennpuncte a des Objectivs zusammenfällt, und es muß daher alle die Strahlen, welche nach einem und demselben Punkte des Bildes, z. B. nach a oder b zulaufen, so brechen, daß sie unter sich parallel werden. Wenn daher ein Auge mittelst Parallelstrahlen deutlich sieht, so muß es auch nothwendig durch diese Vorrichtung den Gegenstand AB sehen, nur unter einem vergrößerten Sehwinkel, obschon hier nicht, wie beim astronomischen Fernrohre, ein eigentliches Luftbild entsteht.

Die Strahlen AC, AD, die von dem in der Axe liegenden Punkt A des Objects kommen, werden vom Objective so gebrochen, daß sie die Richtungen Cc, Dd annehmen, vermöge welcher sie nach dem Punkte a der Axe zulaufen, welcher das Bild von A vorstellt. In a aber ist zugleich der Zerstreuungspunkt des Oculars, und es wird daher durch dessen Brechung die Convergenz der genannten Strahlen dahin geändert, daß sie mit der Axe parallel in den Richtungen cc', dd' fortgehen. Alle Strahlen, welche von A kommen, formiren daher nach dem Austritt aus dem Ocular einen Cylinder cdd'c, nach dessen Stärke, die wie beim astronomischen Fernrohr ebenfalls der Oeffnung des Objectivs durch die Vergrößerungszahl dividirt gleich ist, die Lichtstärke des Perspectivs geschätzt werden muß. Die Länge des Rohrs ist von dem Unterschiede zwischen der Brennweite des Objectivs und der Zerstreuungsweite des Oculars gleich.

Der Hauptstrahl BV geht unterbrochen durch die Mitte des Objectivs nach dem Punkte b hin, welcher das Bild B ist, aber er wird in seiner Richtung durch das Ocular so geändert, daß er die Richtung ww' annimmt, als käme er aus dem Punkte q der Axe. Alle übrigen von B kommenden Strahlen BE, BF werden durch beide Linsen nach den Richtungen ee', ff' gebrochen, welche mit ww' parallel sind. In der Figur bemerkt man sogleich den Punkt O, wo sich zwei von A und B kommende Strahlen schneiden, so daß, wenn hier ein Auge steht, der Punkt B in der Richtung Oe,

A in der Richtung Od, das Object AB also aufrecht gesehen wird. Der Sehwinkel aber ist eOd, welcher, weil dO mit qW, eO mit qw parallel ist, offenbar dem Winkel Wqw gleich ist, daher sich nach dessen Vergleichung mit dem Winkel WVw, unter welchem das Object mit bloßem Auge gesehen erscheint, die Vergrößerung des Perspectivs abmißt. Aber statt des Winkels Wqw können wir offenbar auch den Winkel aWb setzen, indem wir aus der Mitte des Oculars die Linie Wb ziehen, weil der Strahl, der von B ausgeht und durch das Objectiv so gebrochen wird, daß er durch die Mitte des Oculars geht, nun weiter keine Brechung mehr erleidet und daher gerade durch b gehen, zugleich aber auch mit qw parallel laufen muß. Wir haben also die Vergrößerung durch die Vergleichung der Winkel aWb und aVb zu messen, und da ist klar, daß aWb so viel mal größer ist, als Wa kleiner als Va, nämlich als die Brennweite des Oculars in der des Objectivs enthalten ist, vorausgesetzt, daß nur kleine Winkel in Frage stehen.

Dividirt man also die Brennweite des Objectivs mit der des Oculars, so erhält man die Vergrößerungszahl.

Weil aber durch das Instrument die Sehwinkel vergrößert werden, so scheint es auch die Objecte näher heranzuziehen.

Denkt man sich nun, ein Auge befinde sich in der Axe, so wird es den äußersten Randstrahl dw', nachdem er durch das Rohr hindurch gegangen ist, sicherlich nicht mehr fassen, wenn das Ocular eine größere Fläche hat, als die Pupille, und nun begreift man leicht, daß das Gesichtsfeld, welches man in der Axe übersieht, nicht größer sein kann, als wenn die Oeffnung des Oculars nur der der Pupille gleich wäre, daher es, sobald nur die Länge des Fernrohrs einigermaßen groß wird, fast bis zum Verschwinden abnimmt. Dabei muß dennoch das Auge hart an das Ocular gehalten werden, damit nicht die Hauptstrahlen, welche sich immer weiter von der Axe entfernen, an der Pupille vorbeigehen. — Indeß

muß man beim holländischen Fernrohre zweierlei Gesichtsfelder unterscheiden, das, was man mit einem Blicke übersieht und das, was man noch übersehen kann, wenn man das Auge über der Fläche des Oculars hinbewegt. Dieses hängt eben so, wie beim astronomischen Fernrohre, von der Oeffnung des Oculars ab und ist nicht geringer. Man kann auf die letztere Weise nach und nach alle Punkte sehen, von denen noch Hauptstrahlen auf das Ocular fallen.

Abweichungen wegen der verschiedenen Brechbarkeit und wegen der Kugelgestalt wirken bei diesem Fernrohre eben so, wie beim astronomischen und verursachen, daß das Rohr ebenfalls sehr lang werden muß, wenn die Vergrößerung stark werden soll. Da nun aber zugleich das Gesichtsfeld bis zur Unbrauchbarkeit des Fernrohrs abnimmt, so bedient man sich desselben heut zu Tage, wie schon bemerkt, blos als eines Taschenperspectivs, welches wegen seiner geringen Länge und daher auch nicht starken Vergrößerungen noch hinlänglich viel zu übersehen gestattet. Die Helligkeit ist dabei noch eine Hauptbedingung, daher man oft dieselbe durch eine große Oeffnung des Objectivs auf Kosten der Deutlichkeit zu verstärken sucht. Insgemein nimmt man erfahrungsmäßig folgende Verhältnisse der Brennweiten beider Linsen:

Brennweite des Objectivs in Zollen	2, 5, 9, 18, 30
Brennweite des Oculars in Zollen	$\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3
Vergrößerung	4, 5, 6, 9, 10 mal
Länge des Rohrs	$1\frac{1}{2}$, 4, $7\frac{1}{2}$, 16, 27 Zoll

und hieraus ist ersichtlich, daß man nicht wohl mehr als eine 8malige Vergrößerung erhalten kann, wenn die Länge des Instruments für ein Taschenperspectiv nicht zu unbequem werden soll.

Littrow giebt in seiner Dioptrik folgendes Beispiel für ein Taschenperspectiv. Die Länge soll nur 6 Zoll betragen, die Vergrößerung $2\frac{1}{2}$ fach sein und ein Gegenstand von 5 Fuß Länge auf eine Entfernung von 200 Fuß nach und nach übersehen werden können. Die

Brennweite des Objectivs ist 10 Zoll, seine Oeffnung ¼ Zoll, die Brennweite des Oculars 4 Zoll, seine Oeffnung 0 • 16 Zoll. Bei dieser Einrichtung ist die Farbenzerstreuung und die Abweichung wegen der Kugelgestalt sehr gering, die Helligkeit der mit bloßen Augen gleich. Sie scheint für ein Taschenperspectiv nicht unbequem.

§. 151. Von den achromatischen Objectiven.

Diese bestehen aus zwei hart aneinander liegenden Linsen aus verschiedenen Glasmassen; die vordere, dem Objecte zugekehrt, ist convex und besteht aus Kron- oder gewöhnlichem Spiegelglase, die hintere, concave aber aus Flintglase, welches eine größere Farbenzerstreuung hat, als das erstere. Die concave Linse hat eine größere Brennweite, als die convexe, so daß die Verbindung wie ein Sammelglas wirkt; aber das Verhältniß der Brennweiten ist so gewählt, daß die von der Kronglaslinse verursachte Farbenzerstreuung durch die Flintglaslinse wieder aufgehoben wird.

Man hatte in Folge einer falschen Behauptung Newton's, nach welchem die Farbenzerstreuungen im Verhältniß der mittleren Brechungen sein sollten, lange geglaubt, daß farblose Bilder durch Verbindung zweier verschiedenartigen Glaslinsen unmöglich wären, bis endlich Dollond der ältere, auf Anregung Euler's, Erfinder der achromatischen Fernröhre wurde und dieselben bis zu einem sehr hohen Grade der Vollendung brachte. Seitdem wurden auch in England dergleichen Objective von vorzüglicher Güte verfertigt, und die Engländer behaupteten diesen Vorzug, bis er ihnen durch Fraunhofer, der seltsame Geschicklichkeit mit tiefen theoretischen Kenntnissen in sich vereinigte, entrissen wurde.

Gleich nach der Erfindung der achromatischen Fernröhre machten sich auch die größten Mathematiker an die Berechnung der Verhältnisse, nach welchen die Krüm-

mungshalbmesser des Doppelobjectivs gewählt werden müssen, wenn es möglichst vollkommen werden soll. Allein die Arbeiten der Künstler entsprachen den Erwartungen, die man auf jene Rechnungen gründete, bei weitem nicht, wodurch Mißtrauen gegen die Theorie und sogar Widerwille die natürliche Folge war. Der Grund des Mißlingens aber lag in dem Unterschiede der Glasmassen, besonders des Flintglases, welchen man irrigerweise für viel zu gering hielt, als daß er erhebliche Aenderungen in den Krümmungen der Linsen hervorbringen sollte. Gegenwärtig ist aber zur Genüge gezeigt, daß nur durch Hülfe der Theorie, vorausgesetzt, daß sie die Natur der Glasarten in jedem Falle besonders berücksichtigt, ein gutes achromatisches Fernrohr construirt werden kann, und daher wollen wir nun die Mittel an die Hand geben, welche heut zu Tage zur Fertigung eines möglichst vollkommenen Refractors zu Gebote stehen.

Es sei also (Taf. XXII, Fig. 8) A die Spiegelglaslinse Am′ die Axe und ZE ein mit ihr parallel einfallender weißer Strahl. Sobald dieser aus der Linse A herausgetreten ist, so ist er auch in seine sieben Farben gespalten, so daß die mittlere in m, die rothe in r, die violette in v ihren Brennpunkt hat.

Die Hohllinse bricht nun das Licht zum zweiten Male und vereinigt die mittleren Strahlen in dem Punkt m′ der Axe, da ihre Brennweite die größere und sie also die Brechung der Linse A nicht ganz aufzuheben vermag. Denken wir uns daher von m′ aus einen Strahl auf die Linse B fallend und so gebrochen und zerstreut, daß die mittlere Farbe gerade in m, die rothe in r, die violette in v ihren Zerstreuungspunkt hat, so wird durch die Verbindung der Linsen A und B offenbar Achromatismus bewirkt, denn es vereinigen sich dann auch umgekehrt die farbigen Strahlen Jv, Jm, Jr sämmtlich in m′. Die Linse B muß also so genommen werden, daß sie den aus dem Brennpunkte m′ der verbundenen Gläser kommenden Strahl m′J in eben den

Raum v r zerstreut, wie es die Linse A im Bezug auf den Strahl ZE thut.

Da nun die Linse B eine größere Brennweite haben muß, als A, so würde sie die Zerstreuung der letzten nicht aufheben können, wenn sie aus derselben Glasart bestände, also eben das zerstreuende Vermögen hätte, als A. Sie muß also aus einer Glasart bestehen, welche ein stärkeres Zerstreuungsvermögen hat, als Kronglas, wie es z. B. beim Flintglase der Fall ist.

Wenn nun beide Linsen ein achromatisches Bild hervorbringen sollen, so müssen sich ihre Brennweiten wie die zerstreuenden Kräfte der Glasarten verhalten, woraus sie bestehen.

Es sei z. B. das Brechungsverhältniß der mittlern Strahlen beim Spiegelglase = 1 • 5435, das der violetten Strahlen = 1 • 5556, so beträgt die Zerstreuung 1 • 5556 — 1 • 5435 = 0 • 0121, und wenn man diesen Unterschied durch das um 1 verminderte mittlere Brechungsverhältniß dividirt, so erhält man die zerstreuende Kraft des Kronglases $= \frac{121}{5435}$. Ferner sei beim Flintglase das mittlere Brechungsverhältniß = 1 • 6100, das der violetten Strahlen = 1 • 6354, so ist die Zerstreuung 0 • 0254 und die zerstreuende Kraft $= \frac{254}{6100}$; folglich verhält sich die Brennweite der Kronglaslinse zu der der Flintglaslinse wie $\frac{121}{5435}$ zu $\frac{254}{6100}$, d. i. wie 1 : 1 • 8703.

Aus den Brennweiten beider Linsen kann man nun auch die Brennweite des Doppelobjectivs berechnen. Setzen wir z. B. die Brennweite der Kronglaslinse = 1, so ist in dem vorigen Falle die der Flintglaslinse = 1 • 8703 und daher die Brennweite des Doppelobjectivs

$$= \frac{1 \cdot 8703 \times 1}{1 \cdot 8703 - 1} = 2 \cdot 149.$$

also über zweimal größer, als die Brennweite der Flintglaslinse.

Von allem diesen kann die Mathematik genauere Nachweisung geben. Nennt man die Brennweite der Kronglaslinse p, die der Flintglaslinse q, das Brechungsverhältniß der mittleren Strahlen beim Kronglase n, die Aenderung desselben für die violetten Strahlen dn und bedeuten m und dm dasselbe beim Flintglase, so ist

$$q = \frac{n - 1}{m - 1} \cdot \frac{d\,m}{d\,n} \cdot p$$

und wenn man die Zahl $\frac{n - 1}{m - 1} \times \frac{d\,m}{d\,n} = 1$ setzt, die Brennweite des Doppelobjectivs $= \frac{1\,p}{1 - 1}$.

Noch ist es aber nicht genug, die Brennweiten beider Linsen eines Doppelobjectivs so zu wählen, daß dadurch die Farbenzerstreuung wegfällt, sondern es kommt dabei noch sehr viel darauf an, wie man die Krümmungshalbmesser der Glasoberflächen nimmt, um auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt gänzlich zu vernichten, oder doch wenigstens den größten Theil ihres Einflusses zu beseitigen, was durch Verbindung eines Sammelglases mit einer Hohllinse, wie beim achromatischen Doppelobjectiv allerdings geschehen kann. Es mag z. B. der Vereinigungspunkt, der mittlern Centralstrahlen für die Linse A (Taf. XXII, Fig. 8) in m sein, so werden, wie schon erinnert worden ist, die mittlern Randstrahlen näher an der Linse in dem Punkte v mit der Axe vereinigt. Die Linse B zerstreut auf ähnliche Weise die aus m' kommenden mittlern Strahlen so, daß die Randstrahlen näher an der Linse ihren Zerstreuungspunkt haben, als die Centralstrahlen, und wenn es daher gelingt, die Krümmungshalbmesser von B so zu bestimmen, daß ein von m' ausgehender Randstrahl in v, ein Centralstrahl aber in m seinen Zerstreuungspunkt hat, so wird begreiflicherweise das Doppelobjectiv frei von der Kugelabweichung sein müssen.

Für die Wahl der Krümmungshalbmesser eines Doppelobjectivs hat man mancherlei Vorschläge gemacht, deren Zweck lediglich da hinausgeht, den Linsen die möglichst größte Oeffnung geben zu können, ohne daß der noch bleibende Rest der Kugelabweichung, die streng genommen nicht ganz vernichtet werden kann, merklich wird. In der Regel wählte man die Krümmungen der Kronglaslinse nach Belieben und bestimmte hiernach die Halbmesser der Flintglaslinse so, daß die Kugelabweichung der mittlern Strahlen gehoben wurde.

Hier werden aber die Rechnungen ziemlich verwickelt, und ein nicht sehr mathematisch gebildeter Künstler darf keine Hoffnung hegen, sie ausüben zu können. Zum Glück für sie sind aber in neuester Zeit Tafeln berechnet worden, mittelst welcher man ohne schwere Rechnung für jedwede Kron- und Flintglasarten die erforderliche Gestalt der Linse finden kann, und deren Gebrauch wir sogleich erklären werden.

Wenn aber auch die Abweichung der mittlern Randstrahlen gehoben ist, so werden dennoch nicht die farbigen Randstrahlen mit ihnen in demselben Punkte zusammentreffen, weil sie ein anderes Brechungsverhältniß haben. Diese Art der Abweichung ist indeß so gering, daß man sie, so lange das Objectiv nicht eine allzu große Oeffnung bekommt, gar nicht zu fürchten hat. Sie ließe sich zwar, wie Gauß gezeigt hat, ebenfalls aufheben, wenn beide Linsen nach mühsam zu berechnenden Verhältnissen meniskenförmig geschliffen und ihre convexen Flächen dem Gegenstande zugekehrt werden.

1) Die Farbenzerstreuung der Axenstrahlen wird durch ein Doppelobjectiv nie vollkommen aufgehoben, weil das Flintglas die farbigen Strahlen nicht nach demselben Verhältnisse zerstreut, wie es das Kronglas thut, vielmehr werden nur diejenigen äußern Strahlen des prismatischen Spectrums in einem einzigen Punkte vereinigt, welche bei der Bestimmung der Brennweiten beider Linsen als Grundlage dienten, z. B. die rothen und die violetten mit den der Brechbarkeit nach in der

Mitte liegenden. Für die zwischenliegenden Farbenstrahlen bleibt immer noch eine Abweichung, wodurch man das sogenannte sekundäre Spectrum gebildet wird, welches freilich in den meisten Fällen nur unbedeutend ist. Hieraus folgt mit Nothwendigkeit die practische Regel, daß man, wenn man zwischen mehreren Kron- und Flintglassorten die Wahl hat, diejenigen aussuchen muß, die so nahe wie möglich die sämmtlichen Strahlen des Spectrums nach gleichem Verhältnisse zerstreuen, oder bei welchen der Coefficient $\frac{n - 1}{m - i} \cdot \frac{d\,m}{d\,n}$ für alle Strahlen nahe derselben bleibt. Würde man eine Kron- und Flintglassorte haben, bei welcher die Zerstreuung aller Strahlen gleichförmig wäre, so würden sich aus ihr vollkommen achromatische Doppelobjecte verfertigen lassen.

2) Aus dieser Ungleichförmigkeit in der Zerstreuung des Kron- und Flintglases folgt eine andere practische Regel, daß man nämlich diejenigen äußern Strahlen des Farbenbildes durch das Doppelobjectiv vereinigen muß, welche vor andern durch ihre Lebhaftigkeit sich auszeichnen, also etwa die feuerfarbenen und die dunkelblauen; denn wenn dann auch für die rothen und violetten Strahlen noch einige Abweichung übrig bleibt, so wird sie doch dem deutlichen Sehen wegen des geringen Lichtreizes, den diese Strahlen verursachen, keinen merklichen Eintrag thun. Betrachtet man dann mit einem solchen Fernrohre den Mond und zieht den Ocularansatz über die Grenze des deutlichen Sehens heraus, so zeigt der Mond einen schwachen Rand von purpurfarbenem Licht, und wenn das Augenglas über die genannte Grenze weiter hineingeschoben wird, so sieht man einen schwachen Rand von grüngelbem Lichte. Würde man aber die beiden äußersten und schwächsten Farben, Roth und Violett, vereinigt haben, so würde der Mondrand im ersten Falle mit einem lebhaften Orange, im zweiten mit einem starken Blau umgeben scheinen, weil diese beiden Farben unter allen am unvollkommensten zur Ver-

einigung gebracht worden wären, da sie doch eben ihrer größten Intensität wegen vorzüglich hätten berücksichtigt werden sollen.

Man muß also bei der Construction eines achromatischen Doppelobjectivs die Brechungsverhältnisse der feuerfarbenen und dunkelblauen Strahlen einer jeden Glasart wissen. Das arithmetische Mittel oder die halbe Summe beider Brechungsverhältnisse giebt die mittlere Brechung und ihre halbe Differenz die Zerstreuung.

Man habe z. B. bei Flintglas für die orangenen Strahlen das Brechungsverhältniß 1 • 654, für die blauen 1 • 698, so ist das mittlere $= \frac{1 \cdot 654 + 1 \cdot 698}{2} = \frac{3 \cdot 352}{2} = 1 \cdot 676$ und die Zerstreuung $= \frac{1 \cdot 698 - 1 \cdot 654}{2} = \frac{0 \cdot 044}{2} = 0 \cdot 022$ und daher endlich auch die zerstreuende Kraft $= \frac{0 \cdot 022}{0 \cdot 676} = 0 \cdot 0325$ (§. 51).

3) Je größer die zerstreuende Kraft des Flintglases im Verhältniß zu der des Kronglases ist, desto größer wird die Brennweite der Flintglaslinse, welche die Zerstreuung der gegebenen Kronglaslinse aufzuheben vermag. Daher ergiebt sich schon auf den ersten Blick, daß Flintglas zu achromatischen Fernröhren desto geeigneter ist, je mehr es die Farben des Spectrums zerstreut; denn unter dieser Bedingung brauchen beide Linsen nicht so kleine Brennweiten zu haben, wenn man ein Doppelobjectiv von einer gegebenen Brennweite hervorbringen will, als bei Flintglase von geringer zerstreuender Kraft nöthig wird. Eine Folge hiervon ist, daß auch die Oeffnung der Doppellinse größer genommen werden darf, weil die Krümmungshalbmesser größer sind. Man hat daher seit der Erfindung der achromatischen Fernröhre sich gar sehr bemüht, Flintglas von recht großem Zerstreuungsvermögen darzustellen, es sind aber bis jetzt die

Versuche deshalb nicht sehr glücklich ausgefallen, weil man das Glas wegen des großen Zusatzes von Bleikalk (Mennige) nicht rein erhalten konnte. Die zerstreuende Kraft des bisher angewandten Flintglases ist ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis 2mal größer, als die des Kronglases.

4) Nach Fraunhofer's Beobachtung sammelt sich im Brennpunkte des Doppelobjectivs das meiste Licht, oder die Abweichung der hellsten oder dichtesten Farben wird am geringsten, wenn das Zerstreuungsverhältniß etwas größer genommen wird, als es die Versuche geben. Für die gewöhnlichen Flint- oder Kronglassorten beträgt die Vermehrung etwa 0 · 012 des gegebenen Verhältnisses, so daß man dieses noch mit 1 · 012 zu multipliciren hat. Wäre z. B. das beobachtete Zerstreuungsverhältniß = 0 · 65, so hätte man dieses in 0 · 65 × 1 · 012 = 0 · 6578 umzuändern.

§. 152. Die Herschelschen Tafeln.

Herschel berechnete nach einer ihm eigenen Methode die Krümmungshalbmesser des Doppelobjectivs so, daß neben der Farbenabweichung nicht nur die Aberration wegen der Kugelgestalt für sehr weit entfernte, sondern für solche Objecte, die auch nur mäßig weit vom Objective abstehen, gehoben wird. Seine Regeln sind von den englischen Künstlern mit Beifall aufgenommen worden und auch Fraunhofer hat seine Objective, deren Vorzüglichkeit von der ganzen gebildeten Welt anerkannt wird, wie aus sorgsamen Rechnungen des Prof. Stampfer in Wien hervorgeht, gleichfalls nach den Herschel'schen Rechnungen ausgeführt. — Die Kronglaslinse ist biconvex und kehrt die flächere Seite dem Objecte zu, die Flintglaslinse ist concav-convex, mit der convexen Seite vom Gegenstand abgekehrt. — Wir theilen hier die Tafeln mit, welche nach den Herschel'schen Formeln zum Gebrauche berechnet sind.

A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
0.550	0.67185	0.740	—0.0110	1.45353	10.080	5.033
0.560	0.67155	0.725	—0.0014	1.44857	10.274	5.158
0.561	0.67152	0.724	—0.0004	1.44809	10.293	5.170
0.562	0.67149	0.722	0.0006	1.44761	10.312	5.183
0.563	0.67146	0.721	0.0016	1.44713	10.331	5.195
0.564	0.67143	0.719	0.0025	1.44665	10.351	5.208
0.565	0.67140	0.718	0.0034	1.44617	10.371	5.220
0.570	0.67129	0.710	0.0082	1.44377	10.468	5.283
0.580	0.67109	0.696	0.0178	1.43897	10.661	5.408
0.590	0.67089	0.686	0.0274	1.43417	10.854	5.533
0.600	0.67071	0.676	0.0370	1.42937	11.049	5.659
0.601	0.67069	0.673	0.0388	1.42792	11.060	5.672
0.602	0.67073	0.671	0.0406	1.42647	11.071	5.685
0.603	0.67077	0.669	0.0424	1.42502	11.083	5.699
0.604	0.67086	0.667	0.0442	1.42357	11.094	5.712
0.605	0.67091	0.664	0.0460	1.42212	11.005	5.725
0.606	0.67096	0.662	0.0478	1.42067	11.117	5.739
0.607	0.67101	0.660	0.0495	1.41922	11.128	5.752
0.608	0.67106	0.658	0.0512	1.41777	11.139	5.765
0.609	0.67111	0.655	0.0529	1.41632	11.151	5.779
0.610	0.67116	0.653	0.0546	1.41487	11.162	5.792
0.620	0.67166	0.631	0.0722	1.40037	11.275	5.925
0.630	0.67216	0.608	0.0898	1.38589	11.385	6.059
0.640	0.67266	0.585	0.1074	1.37249	11.502	6.192
0.650	0.67316	0.563	0.125	1.35709	11.614	6.323
0.660	0.67516	0.517	0.160	1.33189	11.614	6.569
0.670	0.67709	0.472	0.196	1.30683	11.614	6.819
0.680	0.67899	0.427	0.233	1.28175	11.614	7.069
0.690	0.68089	0.382	0.274	1.25665	11.614	7.319
0.695	0.68184	0.360	0.294	1.24410	11.614	7.444
0.700	0.68279	0.335	0.312	1.23154	11.614	7.570

Die Columne A enthält den Quotienten, welcher durch Division der zerstreuenden Kraft des Flintglases in die des Kronglases entsteht, oder wenn wir die frühere Bezeichnungsweise wählen, den Quotienten

$$\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{d\,n}{d\,m},$$

den wir in der Folge immer Zerstreuungsverhältniß nennen werden.

In der Columne B steht der vordere Halbmesser der Kronglaslinse, wobei die Brennweite des Doppelobjectivs = 1 gesetzt ist, nach den mit C und D überschriebenen Zahlen aber wird dieser Halbmesser corrigirt, wenn die Brechung des Kron- und Flintglases anders ist, als die der Tafel zu Grunde liegende. Bei der Berechnung der Tafel nämlich ist das Brechungsverhältniß des Kronglases = 1 • 524 und das des Flintglases = 1 • 585 angenommen. Die Spalte C enthält die Correction wegen des Kronglases, die Spalte D wegen des Flintglases.

In der Columne E ist der hintere Halbmesser der Flintglaslinse enthalten, welcher, wie wir wissen, einer converen Fläche angehört, und unter F findet man die Correction dieses Halbmessers wegen des Kronglases, unter G die Correction wegen des Flintglases.

§. 153. Erläuterung der Tabellen durch practische Beispiele.

Wir wollen nun den Gebrauch dieser Tafeln an einigen Beispielen erläutern. Es sei also das Brechungsverhältniß für die mittlern Strahlen im Kronglase = 1 • 515, im Flintglase = 1 • 671 und der Quotient, den man erhält, wenn man die zerstreuende Kraft des Kronglases mit der des Flintglases dividirt, d. h. das Zerstreuungsverhältniß = 0 • 56265, welche Zahl unter der mit A beschriebenen Spalte zu suchen ist. Da aber die Werthe von A in der Tafel nur dreiziffrig sind, so

findet man auch nicht die Zahlen B, C, D u. s. w. genau, man muß erst eine kleine Rechnung (das Interpoliren) vornehmen, auf folgende Weise:

Nächst kleineres A	0 • 562	dazu B	0 • 67149	
— größeres A	0 • 563	— B	0 • 67146	
Unterschied	0 • 001 (I)	Unt.	0 • 00003 (II)	

Unterschied des nächst kleinen A von
gegebenen = ... 0 • 00065 (III)

Nun schließt man nach folgender Proportion: wie sich verhält der Unterschied I zum Unterschiede II, so verhält sich auch der Unterschied III zur erforderlichen Correction von B, nämlich so:

0 • 001 : 0 • 00003 = 0 • 00065 : Correction von B

Correction von B $\frac{0 \cdot 00003 \times 0 \cdot 00065}{0 \cdot 001} = 0 \cdot 0000195$
$= 0 \cdot 00002.$

Diese Correction ist zu dem Werthe von B, welcher zum nächst kleinern A (= 0 • 562) gehört, abzuziehen, um das zum gegebenen A gehörige B zu erhalten, also daß B = 0 • 67149 — 0 • 00002 = 0 • 67147. — Daß aber die Correction von B abzuziehen sei, ergiebt sich daraus, daß die Werthe von B bei nachstehendem A bis A = 0 • 601 abnehmen. Von A = 0 . 601 an wachsen die Werthe von B wieder mit wachsendem A und daher muß dann die nach obiger Vorschrift berechnete Correction addirt werden. Die Zahl C wird durch eine gleiche Interpolation bestimmt, da aber in der Stelle, wo das gegebene A liegt, die Werthe von C sich nur um eine 1 in der letzten Decimale ändern, so fällt jene Rechnung ganz weg, und man braucht nur denjenigen Werth von C zu nehmen, welcher zu A = 0 • 563 gehört, indem dieses A dem gegebenen am nächsten kommt. Es ist daher C = 0 • 721.

Auf gleiche Weise wird D gesucht, nämlich:

Nächst kleineres A	0 • 562	dazu	D = 0 • 0006	
— größeres A	0 • 563	—	D = 0 • 0016	
Unterschied	0 • 001 (I)	Unt.	= 0 • 0010 (II)	

Unterschied des nächst kleineren A vom gegebenen 0·00065 (III), daher die Proportion:

$$\underset{\text{(I)}}{0\cdot001} : \underset{\text{(II)}}{0\cdot0010} = \underset{\text{(III)}}{0\cdot00065} : \text{Correction von D}$$

$$\text{Correction von D} = \frac{0\cdot0010 \times 0\cdot00065}{0\cdot001} = 0\cdot00065,$$

welche zu dem zum nächst kleineren A gehörigen Werthe von D (zu 0·0006) zu addiren ist, da die Zahlen unter D mit wachsendem A wachsen, so daß man hat

$$D = 0\cdot0006 + 0\cdot00065 = 0\cdot0012.$$

Nachdem nun die Werthe von B, C und D richtig bestimmt sind, sucht man den Unterschied des gegebenen Brechungsverhältnisses des Kronglases von dem der Tafeln (1·524) und multiplicirt mit demselben die Zahl C, so hat man die Correction des ersten Halbmessers wegen des Kronglases. Diese Correction wird zu B addirt oder davon subtrahirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß des Kronglases größer oder kleiner ist, als 1·524. Die Rechnung steht so:

Gegebenes Brechungsverhältniß des Kronglases	1.515
Brechungsverhältniß in den Tafeln	1·524
Unterschied	0·009
multiplicirt mit C =	0·721
Correction wegen des Kronglases	0·006489
	= 0·00649 (zu subtrahiren).

Gerade so findet sich die Correction wegen des Flintglases, indem man den Unterschied zwischen dem gegebenen Brechungsverhältniß dieser Glasart und dem der Tafeln (1 · 585) mit D multiplicirt.

Gegebenes Brechungsverhältniß des Flintglases	1·671
Brechungsverhältniß in den Tafeln	1·585
Unterschied .	0·086
multiplicirt mit D =	0·0012
Correction wegen des Flintglases . . . . . . =	0·0001032
=	0·00010 (zu addiren).

Die Correction wegen des Flintglases wird nämlich zu B addirt oder davon subtrahirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß 1·671 größer oder kleiner ist, als 1·585. Nur in den Fällen, wo die Zahlen unter D negativ sind (von A = 0·550 bis A = 0·561) tritt das Umgekehrte ein; die Correction wird nämlich von B subtrahirt oder dazu addirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß größer oder kleiner ist, als 1 · 585.

Man hat also B =	0·67147	
Correction wegen des Kronglases	0·00649	subtrahirt
	0·66498	
„ „ „ Flintglases	0·00010	addirt
vorderer Halbmesser der Kronglaslinse	0·66508.	

Der hintere Halbmesser der Flintglaslinse wird nun ganz auf dieselbe Weise mittelst der Zahlen E, F und G gefunden, doch muß man sie erst durch Interpolation genau bestimmen.

Nächst kleineres A 0·562 dazu E = 1·44761
„ größeres A 0·563 „ E = 1·44713

Unterschied 0·001 (I) Unterschied 0·00048 (II).
Unterschied zwischen dem gegebenen A und dem nächst kleineren der Tafeln = 0·00065 (III), daher die Proportion:

(I) (II) (III)
0·001 : 0·00048 = 0·00065 : Correction von E

$$\text{Correction von E} = \frac{0·00048 \times 0·00065}{0·001} = 0·00031$$

und diese Correction muß von dem zum nächst kleinern A der Tafeln gehörigen Werthe von E subtrahirt werden, um das richtige E zu erhalten, da die Werthe von E mit wachsendem A abnehmen. Es ist also

E = 1·44761 — 0·00031 = 1·44730.

Ferner:

Nächst kleineres A 0·562 dazu F = 10·312
„ größeres A 0·563 „ F = 10·331

Unterschied 0·001 (I) Unterschied 0·019 (II).

Unterschied zwischen dem gegebenen A und dem nächst kleineren der Tafeln = 0·00065 (III), daher

(I) (II) (III)
0·001 : 0·019 = 0·00065 : Correction von F

$$\text{Correction von F} = \frac{0·019 \times 0·00065}{0·001} = 0·012,$$

welche zu dem zum nächst kleinern A gehörigen F zu addiren ist, so daß man hat:

F = 10·312 + 0·012 = 10·324.

Endlich:

Nächst kleineres A 0·562 dazu G = 5·183
„ größeres A 0·563 „ G = 5·195

Unterschied 0·001 (I) Unterschied 0·012 (II).

Unterschied des gegebenen A vom nächst kleinern der Tafeln = 0·00065 (III), daher:

(I) (II) (III)
0·001 : 0·012 = 0·00065 : Correction von G

$$\text{Correction von G} = \frac{0·00065 \times 0·012}{0·001} = 0·008,$$

welche zu dem zum nächst kleineren A gehörigen Werthe von G zu addiren ist, so daß man hat:

G = 5·183 + 0·008 = 5·191.

Hieraus finden sich die Correctionen wegen des Kron- und Flintglases, die man an die Zahl E anbringen muß, ganz so, wie früher, nämlich:

Unterschied zwischen den Brechungsverhältnissen des gegebenen Kronglases und dem der Tafeln	0·009
multiplicirt mit F	10·324
Correction wegen des Kronglases	0·092916
=	0·09292 (zu subtrahiren).

Diese Correction wird nämlich zu E addirt oder davon subtrahirt, je nachdem das Brechungsverhältniß des gegebenen Kronglases größer oder kleiner ist, als 1·524.

Unterschied zwischen den Brechungsverhältnissen des gegebenen Flintglases und den der Tafeln	0·086
multiplicirt mit G	5·191
Correction wegen des Flintglases	0·446426
=	0·44643 (zu subtrahiren).

Diese Correction wird nämlich von E subtrahirt oder zu E addirt, je nachdem das gegebene Brechungsverhältniß des Flintglases größer oder kleiner ist, als 1·585.

Demnach E = ...	1·44730	
Correction wegen des Kronglases	0·09292	subtrahirt.
	1·35438	
Correction wegen des Flintglases	0·44643	subtrahirt
Hinterer Halbmesser der Flintglaslinse	0·90795.	

Obgleich diese Rechnung etwas lang ist, so ist sie doch keineswegs beschwerlich und kann leicht von Jedem ausgeführt werden, der das Rechnen mit Decimalbrüchen versteht, was man doch wohl von einem, der es unter-

nimmt, ein astronomisches Fernrohr zu verfertigen, vorausseten muß.

Nachdem nun der vordere Halbmesser der Kronglaslinse und der hintere der Flintglaslinse (der erste und vierte Halbmesser) gefunden sind, müssen noch die beiden andern, der zweite und dritte, berechnet werden, was mit Hülfe der bekannten Brennweite einer jeden Linse geschehen muß. Wenn wir aber das Zerstreuungsverhältniß $\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{dm}{dm}$ (die Zahl 0·56255) = l setzen und dabei die Brennweite des Doppelobjectivs = 1 annehmen, so ist

die Brennweite der Kronglaslinse $= 1 - l = p$,

" " " Flintglaslinse $= \frac{1-l}{l} = q$.

Nämlich man findet die Brennweite der Kronglaslinse, wenn man das Zerstreuungsverhältniß von 1 abzieht, und dividirt man die Differenz mit demselben Zerstreuungsverhältnisse, so hat man auch gleich die Brennweite der Flintglaslinse.

In dem vorigen Beispiele, das wir hier weiter fortsetzen, war $l = 0{\cdot}56265$, daher

die Brennweite der Kronglaslinse $= 1 - 0{\cdot}56265 = 0{\cdot}43735 = p$,

die Brennweite der Flintglaslinse $= \frac{1 - 0{\cdot}56265}{0{\cdot}56265} = 0{\cdot}777304 = q$.

Hierauf erhält man den zweiten Halbmesser der Kronglaslinse nach der Formel

$$g = \frac{(n-1)\,pf}{f - (n-1)\,p},$$

wo p die Brennweite, n das Brechungsverhältniß, f und g die beiden Halbmesser dieser Linse bedeuten. Man multiplicirt nämlich die Brennweite mit dem um 1 verminderten Brechungsverhältnisse; dieses Product zieht man einmal von dem bekannten Halbmesser ab, das

andere mal multiplicirt man es mit ihm und dividirt mit der erst erhaltenen Zahl in die zweite. —

Die Rechnung wird am leichtesten durch Logarithmen auf folgende Weise geführt:

$\log p = 0{\cdot}6408291 - 1$
addirt $\log (n - 1) = 0{\cdot}7118072 - 1$
$0{\cdot}3526363 - 1 = \log Q$
addirt $\log. f = 0{\cdot}8228739 - 1$
$0{\cdot}1755102 - 1$
$\log [f - (n - 1) p] = 0{\cdot}6432995 - 1$ subtrahirt
$\log g = 0{\cdot}5322107 - 1$

Zahl zu $\log Q = 0{\cdot}2252352$ subtrahirt von
$f = 0{\cdot}66508$
$0{\cdot}4398448 = f - (n - 1) p$
$g = 0{\cdot}34057$ hinterer Halbmesser der Kronglaslinse.

Gerade so verfährt man auch, wenn man den vordern Halbmesser der Flintglaslinse aus dem hintern Halbmesser berechnen will, nur muß man die Zahlen, die man in der vorigen Rechnung von einander abzog, jetzt addiren. Bedeute m das Brechungsverhältniß der Flintglaslinse, q ihre Brennweite, f' ihren vordern, g' ihren hintern Halbmesser, so ist

$$f' = \frac{(m - 1)\, q\, g'}{g' + (m - 1)\, q}.$$

$\log q = 0{\cdot}8905909 - 1$
addirt $\log (m - 1) = 0{\cdot}8267225 - 1$
$0{\cdot}7173134 - 1 = \log P$
addirt $\log g' = 0{\cdot}9580619 - 1$
$0{\cdot}6753753 - 1$
$\log [g' + (m - 1) q] = 0{\cdot}1551906 - 1$ subtrahirt
$\log f' = 0{\cdot}5201847 - 1$
Zahl zu $\log P = 0{\cdot}521571$
$g' = 0{\cdot}90795$ addirt
$1{\cdot}429521$
$f' = 0{\cdot}33127$ vorderer Halbmesser der Flintglaslinse.

Wir haben demnach folgende Einrichtung des Doppelobjectivs bei den oben vorausgesetzten Glasarten:

Brennweite des Doppelobjectivs	= 1	
„ der Kronglaslinse	= 0·43735	
Halbmesser der Vorderfläche	= 0·66508	convex
„ der Hinterfläche	= 0·34057	„
Zerstreuungsweite der Flintglaslinse	= 0·77730	
Halbmesser der Vorderfläche	= 0·33127	concav
„ der Hinterfläche	= 0·90795	convex.

Soll nun z. B. die Brennweite des Doppelobjectivs = 5 Fuß = 60 Zoll sein, so muß man alle Maße mit 60 multipliciren, um sie in Zollen zu erhalten. Man hat demnach:

Brennweite des Doppelobjectivs	= 60·000	Zoll	
„ der Kronglaslinse .	= 26·241	„	
Halbmesser der Vorderfläche . .	= 39·905	„	convex
„ der Hinterfläche . .	= 20·434	„	„
Zerstreuungsweite der Flintglaslinse	= 46·638	„	
Halbmesser der Vorderfläche . .	= 19·876	„	hohl
„ der Hinterfläche . .	= 54·477	„	convex.

Die Oeffnung, die man einem Doppelobjective geben kann, richtet sich darnach, ein wie kleiner Theil der Kugelabweichung noch ertragen werden kann. Durch die Rechnungen nämlich, die wir gelehrt haben, wird nur der beträchtlichste und einflußreichste Theil der sphärischen Aberration, welche dem Quadrate der Oeffnung proportional ist, weggebracht, aber daneben bleibt noch ein anderer Theil übrig, welcher von der vierten Potenz der Oeffnung abhängt und der zwar nur unbeträchtlich ist, aber auch nicht weggeschafft werden kann. Man muß daher seinen Einfluß, wenn er zu stark werden sollte, durch Verminderung beschränken.

Man kann keine bestimmten Regeln für die Größe der Oeffnung geben, weil hierbei gar vieles auch von der Vergrößerung, der Lichtstärke der Objecte, das meiste aber von der veränderlichen Beschaffenheit des Kron-

und Flintglases abhängt. Im Allgemeinen dürfen keine zu großen Brechungen vorkommen, d. h. die Winkel, welche der Randstrahl an den vier Flächen mit den Lothen (Halbmessern) macht, dürfen nicht zu groß werden und höchstens 15 Grad erreichen. Bei der Herschelschen Construction ist meistens der Winkel **KLF** (Taf. **XXII**, Fig. 8) der größte, welchen der aus der Hinterfläche der Kronglaslinse heraustretende Strahl mit dem Lothe **KL** bildet, daher die Oeffnung nicht größer sein darf, als daß dieser Winkel 15° beträgt, ein Bogen, der, in Theilen des Halbmessers ausgedrückt, ungefähr $\frac{1}{4}$ ausmacht. Ist daher die halbe Oeffnung gleich x, und haben die Buchstaben g und p die vorhin gelehrte Bedeutung, so ist der Winkel **KLF** in Theilen des Halbmessers nahe

$$= \frac{x}{p} + \frac{x}{g},$$

und es wird folglich x aus der Gleichung gefunden:

$$\frac{x}{p} + \frac{x}{g} = \frac{1}{4},$$

$$\text{nämlich } x = \frac{p\,g}{4\,(g + p)}$$

und daher die ganze Oeffnung $2\,x = \frac{p\,g}{2\,(p + g)}$.

Bei den Fraunhofer'schen Objectiven von 5 Fuß Länge ist $\frac{x}{p} + \frac{x}{g}$ nahe $= \frac{1}{6}$, daher die ganze Oeffnung $= \frac{2\,p\,g}{5\,(p + g)}$.

Nehmen wir also das Objectiv von 5 Fuß Brennweite, so berechnet sich seine Oeffnung mit Logarithmen auf folgende Weise:

log p	= 1·41898
addirt log g	= 1·31037
	2·72935
subtrahirt log (p + g)	= 1·66909
	1·06026
Zahl	= 11·489.

Daher die Oeffnung = $\frac{1}{2} \times 11 \cdot 489 = 5 \cdot 744$ Zoll, oder nach Fraunhofer nur $\frac{2}{5} \times 11 \cdot 489 = 4 \cdot 596$. — Fraunhofer's Fernröhre haben bei einer Länge von 5 Fuß nur 4 Zoll Oeffnung, weil bei ihnen der Unterschied in den Zerstreuungen der Glasarten nicht so groß ist, als in unserm Beispiele angenommen, und hieraus kann man abnehmen, wie sehr die Vervollkommnung der achromatischen Fernröhre von der Beschaffenheit des Kron- und Flintglases abhängt.

Wir wollen hier noch die halben Oeffnungen hersetzen, welche Fraunhofer seinen Objectiven zu geben pflegte.

1) Astronomische Fernröhre.

Größte von der Brennweite des Objectivs 160 bis 100 Z. Oeffnung 0·054.
Mittlere von der Brennweite des Objectivs 80 bis 48 Z. Oeffnung 0·066.
Kleinste von der Brennweite des Objectivs 40 bis 20 Z. Oeffnung 0·082.

2) Seefernröhre.

Brennweite	des	Objectivs	30 Zoll.	Oeffnung	0·070
„	„	„	20 „	„	0·080
„	„	„	16 „	„	0·082.

3) Zugfernröhre.

Brennweite	des	Objectivs	20 Zoll.	Oeffnung	0·078
„	„	„	16 „	„	0·080
„	„	„	12 „	„	0·090.

4) Kometensucher.

Brennweite des Objectivs 24 Zoll. Oeffnung 0·118.

Die Oeffnungen sind in Theilen der Brennweite des Objectivs angesetzt, wenn diese = 1 genommen wird. Bei einem Objective von 100 Zoll Brennweiete ist also die Oeffnung 0·054 × 100 = 5·4 Zoll. Man sieht aus dieser Tabelle, daß die Oeffnung nicht im Verhältnisse der Brennweite des Objectivs wachsen darf, daß also z. B. ein 10füßiges Fernrohr nicht 8 Zoll Oeffnung haben kann, wenn ein 5füßiges 4 Zoll hat, denn sonst würde die Kugelabweichung zu beträchtlichen Einfluß äußern. Fernröhre, deren Zweck große Lichtstärke ist, ohne starke Vergrößerung, haben im Verhältnisse zu ihrer Länge eine sehr große Oeffnung, wie z. B. die Kometensucher, denen Fraunhofer bei 24 Zoll Brennweite des Objectivs 3 Zoll Oeffnung gab.

§. 154. Berechnung der Dicke der Linsen.

In den Herschel'schen Tafeln zur Berechnung der Doppelobjective ist die Dicke der Linsen nicht berücksichtigt worden, so, als ob sie gar keine Dicke hätten. Daher muß man die Linsen nicht übermäßig stark machen, damit ihre Dicke nicht etwa einen merklichen Einfluß auf die Brechung der Strahlen ausübe, jedoch dürfen sie auch nicht zu schwach werden, damit sich das Glas bei der Bearbeitung nicht biege und für die metallne Fassung ein noch hinlänglich starker Rand bleibe.

Durchschneiden sich beide Flächen der Linse, so ist ihre Dicke in der Mitte genommen,

$$\frac{x^2}{2(n-1)p},$$

wo x die halbe Oeffnung, n das Brechungsverhältniß und p die Brennweite bedeutet. Wenn n bei gemeinem Glase = $\frac{3}{2}$, so ist die Linsendicke gerade =

$$\frac{x^2}{p}.$$

Nehmen wir nun die Linse gleichseitig und ihre Oeffnung so groß, daß der vom Mittelpunkte der Vor-

derfläche nach dem Rande gezogene Strahl mit der Axe einen Winkel von 10 Graden macht, so ist x = 0·1736 des Krümmungshalbmessers oder der Brennweite, nämlich x = 0·1736 p, und daher die Dicke der Linse = $(0 \cdot 1736)^2 = 0 \cdot 03$ der Brennweite, wofür die Practiker gewöhnlich das Doppelte, 0·06 der Brennweite, nehmen.

Bei den Zerstreuungsgläsern können sich die beiden Flächen niemals schneiden, aber man findet unter der Voraussetzung, daß sich beide Flächen in der Mitte berühren, die Dicke am Rande der Linse nach eben der vorhin aufgestellten Formel, wenn p die Zerstreuungsweite bedeutet. Die Formel $\frac{x^2}{2\,(n - 1)\,p}$ giebt also für Zerstreuungsgläser die kleinste Dicke am Rande an, und man muß nun noch dieselbe so weit vergrößern, daß das Glas auch in der Mitte noch stark genug bleibt, um bei der Bearbeitung dem Biegen zu widerstehen. Man nimmt die Dicke höchstens dreimal so groß, als sie die Formel $\frac{x^2}{2\,(n - 1)\,p}$ giebt.

Wenn man einen Bogen zeichnet, welcher der Krümmung einer Linsenfläche entspricht und ihn der Oeffnung der Linse gleich macht, so zeigt der Abstand der Mitte dieses Bogens von seiner Sehne, eine wie starke Glasmasse die so gekrümmte Fläche erfordert. Hieraus läßt sich abnehmen, wie man die Dicke einer Linse auch ohne Rechnung finden kann.

Es sei ferner gegeben:

Brechungsverhältniß des Kronglases = 1·530 = n
" " Flintglases = 1·634 = m
Zerstreuungsverhältniß . . . . = 0·695 = l

man soll ein Objectiv von 3 Fuß = Zoll Brennweite berechnen.

Da das Zerstreuungsverhältniß 0·695 genau in den Tafeln steht, so braucht nicht interpolirt zu werden, sondern die Tafeln geben sogleich B = 0·68184, C =

0·360, D = 0·294. Man hat aber die Correction von B wegen des Kronglases = (1·530 — 1·524) × 0·360 = 0·006 × 0·360 = 0·00216 (zu addiren), die wegen des Flintglases = (1·634 — 1·585) × 0·294 = 0·049 × 0·294 = 0·01441 (zu addiren), daher den ersten Halbmesser der Kronglaslinse = 0·68184 + 0·00216 + 0·01441 = 0·69841 = f.

Ferner geben die Tafeln E = 1·24410, F = 11·614, G = 7·444 und daher auch die Correction von E wegen des Kronglases = (1·530 — 1·524) × 11·614 = 0·006 × 11·614 = 0·06968 (zu addiren), die wegen des Flintglases = (1·634 — 1·585) × 7·444 = 0·049 × 7·444 = 0·36476 (zu subtrahiren), daher der hintere Halbmesser der Flintglaslinse = 1·24410 + 0·06968 — 0·36476 = 0·94902 = g′.

Nun berechnet man nach §. 153 die Brennweiten beider Linsen, nämlich:

Brennweite der Kronglaslinse . . . . = 1 — 0·695 = 0·305 = p

Brennweite der Flintglaslinse . . . . = $\frac{1 - 0·695}{0·695}$ = 0·438849 = q

und hieraus die übrigen Halbmesser durch Logarithmen nach den Formeln des §. 153 auf folgende Weise:

log p =	0·4842998 — 1
addirt log (n — 1) =	0·7242759 — 1
	0·2085757 — 1 = log Q
addirt log f =	0·8441104 — 1
	0·0526861 — 1
log [f — (n — 1) p] =	0·7297801 — 1 subtrahirt
log g =	0·3229060 — 1
Zahl zu log Q =	0·1616500 subtrahirt von
f =	0·69841
Unterschied	0·53676 = f — (n — 1) p

g = 0·21033 Halbmesser der Hinterfläche der Kronglaslinse.

$\log q = 0{\cdot}6423150 - 1$
addirt $\log (m - 1) = 0{\cdot}8020893 - 1 = \log P$
addirt $\log g' = 0{\cdot}9772754 - 1$
$0{\cdot}4216797 - 1$
$\log [g' + (m - 1) q] = 0{\cdot}0889331$ subtrahirt
$\log f' = 0{\cdot}3327466$
Zahl zu $\log P = 0{\cdot}2782302$
$g' = 0{\cdot}94902$ addirt
Summe $= 1{\cdot}2272502 = g' + (m - 1) q$
$f' = 0{\cdot}21515$ vorderer Halbmesser der Flintglaslinse.

Man hat demnach folgende Einrichtung des Doppelobjectivs:

Brennweite des Doppelobjectivs . .	= 1·00000	36·000	Zoll	
Erster Halbmesser .	0·69841	25·143	„	conver
Zweiter „ .	0·21033	7·572	„	„
Dritter „ .	= 0·21515	7·745	„	hohl
Vierter „ .	= 0·94902	34·165	„	conver.

Die Zahlen der zweiten Reihe entstehen durch Multiplication der Zahlen in der ersten mit 36. — Wenn der größte Brechungswinkel nicht über 15° gehen soll, so findet man die Oeffnung, die dieses Objectiv bei 36 Zoll Brennweite zuläßt, mittelst der Brennweite der Kronglaslinse ($= 0{\cdot}305 \times 36 = 10{\cdot}98$ Zoll) und deren Halbmesser $= \frac{1}{2} \times \frac{10{\cdot}98 \times 7{\cdot}57}{10{\cdot}98 + 7{\cdot}57} = 2\frac{1}{4}$ Zoll.

Uebrigens sind bei der Herschel'schen Construction, wie man aus den beiden Beispielen gesehen, der zweite und dritte Halbmesser sehr nahe gleich und zwar bei mittleren Zerstreuungsverhältnissen der dritte größer, als der zweite, was für die Ausarbeitung des Objectivs für vortheilhaft gehalten wird.

Wir wollen zuletzt noch ein Fraunhofer'sches Fernrohr mit dieser Rechnung vergleichen. Nach Stampfer's genauer Messung war bei einem solchen Instrumente von 37 Pariser Linien Oeffnung:

Krümmungshalbmesser der ersten Fläche . . .	33·42	Wiener Zoll convex
Krümmungshalbmesser der zweiten Fläche . .	13·29	„ „ „
Krümmungshalbmesser der dritten Fläche . . .	13·55	„ „ concav
Krümmungshalbmesser der vierten Fläche . . .	60·61	„ „ convex.

Bei kleineren Doppelobjectiven, z. B. von 1 Fuß Länge, pflegte Fraunhofer die Hinterfläche der Kronglaslinse plan zu machen, und dies thut man besonders auch bei den Objectiven des holländischen Fernrohrs. Man berechnet hierfür die Krümmungen des Doppelobjectivs ebenso, wie oben gelehrt, und verwandelt nur die Flintglaslinse in eine planconcave, indem man aus ihrer Brennweite den Krümmungshalbmesser dadurch berechnet, daß man die Brennweite mit dem um 1 verminderten Brechungsverhältnisse multiplicirt.

§. 155. Die Littrowschen Tafeln.

Littrow nimmt die Kronglaslinse des Doppelobjectivs gleichseitig und bestimmt nachher die Flintglaslinse so, daß dadurch die Abweichung wegen der Kugelgestalt sowohl, als auch die Farbenzerstreuung gehoben wird. Seine Rechnungsmethode giebt ihrer Natur nach noch vollkommnere Gläser, als die Herschel'sche, denn er berücksichtigt auch noch die Dicke der Kronglaslinse, die er $= \frac{1}{100}$ ihrer Brennweite annimmt, hauptsächlich aber ist die Vernichtung der Farben- und Kugelabweichung nicht, wie bei der Herschel'schen Rechnung, für nahe und ferne, sondern nur für sehr weit entlegene Gegenstände, indessen wird dieser Mangel nicht von Bedeutung sein können, da man doch durch Fernröhre nur weit entfernte Objecte betrachtet. Dagegen aber gestattet die Gleichseitigkeit der Kronglaslinse eine größere Oeffnung und gewährt daneben noch leichtere Ausfüh-

rung des Objectivs. Littrow hat die Resultate seiner Rechnung in eine sehr vollständige und sehr bequeme Tabelle gebracht, die wir hier mittheilen:

Erste Tafel.

A.	B.	C.	D.
0.500	1.00273	1.331	0.623
0.510	1.00408	1.360	0.615
0.520	1.00538	1.381	0.608
0.530	1.00659	1.396	0.601
0.540	1.00768	1.408	0.594
0.550	1.00861	1.419	0.587
0.552	1.00878	1.421	0.584
0.560	1.00937	1.428	0.579
0.570	1.00994	1.437	0.572
0.580	1.01031	1.448	0.566
0.590	1.01050	1.459	0.560
0.600	1.01051	1.472	0.555
0.610	1.01038	1.486	0.552
0.620	1.01013	1.501	0.549
0.630	1.00980	1.515	0.547
0.632	1.00974	1.517	0.547
0.635	1.00962	1.521	0.546
0.636	1.00959	1.523	0.546
0.637	1.00955	1.524	0.545
0.638	1.00952	1.525	0.545
0.639	1.00948	1.527	0.545
0.640	1.00945	1.528	0.545
0.650	1.00912	1.538	0.543
0.660	1.00890	1.544	0.541
0.670	1.00885	1.544	0.540
0.673	1.00888	1.542	0.541
0.680	1.00906	1.534	0.541
0.690	1.00962	1.513	0.543
0.700	1.01063	1.480	0.545

Zweite Tafel.

E. Brechungsverhältniß der Kronglaslinse.	F.	M.	K.	G. Oeffnung.
1.500	1.000	2.005555	1.00167	0.3480
1.505	1.010	1.985673	1.00161	0.3518
1.510	1.020	1.966180	1.00166	0.3552
1.512	1.024	1.958490	1.00163	0.3566
1.513	1.026	1.954667	1.00162	0.3574
1.514	1.028	1.950860	1.00161	0.3580
1.515	1.030	1.947067	1.00160	0.3586
1.520	1.040	1.928321	1.00165	0.3622
1.525	1.050	1.909932	1.00169	0.3656
1.526	1.052	1.906296	1.00168	0.3664
1.527	1.054	1.902674	1.00167	0.3670
1.528	1.056	1.899066	1.00166	0.3678
1.529	1.058	1.895471	1.00165	0.3684
1.530	1.060	1.891891	1.00164	0.3692
1.533	1.066	1.881229	1.00161	0.3714
1.535	1.070	1.874186	1.00168	0.3728
1.536	1.072	1.870685	1.00167	0.3734
1.537	1.074	1.866197	1.00166	0.3742
1.538	1.076	1.863722	1.00165	0.3748
1.539	1.078	1.860260	1.00164	0.3756
1.540	1.080	1.856810	1.00163	0.3762

§. 156. Einrichtung der Tafeln Littrow's.

Die erste Tafel enthält unter der Rubrik A den Quotienten, welchen man erhält, wenn man mit der Zerstreuung des Flintglases dm in die des Kronglases dn dividirt, und diese Zahl darf nicht mit dem verwechselt werden, was wir bei der Herschel'schen Rechnung Zerstreuungsverhältniß nannten. Dieses ist nämlich

$$\frac{m-1}{n-1} \cdot \frac{d\,n}{d\,m},$$

jenes aber blos

$$\frac{d\,n}{d\,m}.$$

Ist z. B. bei Kronglas für die mittleren Strahlen das Brechungsverhältniß 1·512, für die blauen aber 1·523, so ist die Zerstreuung 1·523 — 1·512 = 0·011. Ist ferner beim Flintglas das mittlere Brechungsverhältniß 1·614, das der blauen Strahlen aber 1.6358, so ist gleichfalls die Zerstreuung = 1.6358 — 1.614 = 0·0218 und der Quotient $\frac{0{\cdot}011}{0{\cdot}0218} = 0{\cdot}5045$ beider Zerstreuungen ist die Zahl, die in der Tabelle mit A bezeichnet ist. Wir wollen uns in der Folge auch hierfür des Ausdrucks „Zerstreuungsverhältniß" bedienen.

In der Rubrik B ist der vordere Halbmesser der Flintglaslinse enthalten, welcher immer einer hohlen Fläche angehört, und mittelst der Zahlen unter C wird derselbe wegen des Kronglases mittelst der Zahlen unter D aber wegen des Flintglases corrigirt. Diese Tafeln sind aber für solche Kron- und Flintglasarten berechnet, bei welchem die mittlern Brechungen 1·50 und 1·60 sind.

In der zweiten Tafel stehen unter E die Brechungsverhältnisse des Kronglases und daneben die Halbmesser der gleichseitigen Kronglaslinse, welche man auch ohne Tafel leicht dadurch findet, daß man vom Brechungsverhältniß 1 abzieht und den Rest doppelt nimmt. Die Zahlen M und N dienen zur Berechnung des hintern Halbmessers der Flintglaslinse und der Brennweite des Doppelobjectivs; endlich steht unter E die Oeffnung des Objectivs bei den verschiedenen Brechungsverhältnissen des Kronglases. Die Brennweite der Kronglaslinse ist als Einheit angenommen, und in Verhältniß zu ihr sind alle übrigen Längen ausgedrückt.

§. 157. Practische Beispiele zum Gebrauch der Littrow'schen Tafeln.

Wir wollen nun den Gebrauch der Littrow'schen Tafeln an zwei Beispielen erläutern. Es sei

1) Brechungsverhältniß des Kronglases = 1·512
" " Flintglases = 1·623

das Zerstreuungsverhältniß = 0·673 in der angegebenen Bedeutung. Welche Krümmungen müssen nun die Flächen beider Linsen bekommen.

Aus Tafel II ergiebt sich sogleich für E = 1·512 der Krümmungshalbmesser der Kronglaslinse F = 1·024, und die Oeffnung des Objectivs G = 0·3566.

Ferner findet man für das Zerstreuungsverhältniß A = 0·673 die Zahl B = 1·00888, welche wegen des Kron- und Flintglases noch corrigirt werden muß. Man sucht nämlich den Unterschied zwischen dem Brechungsverhältniß des Kronglases und der Zahl 1·500 und den Unterschied zwischen dem Brechungsverhältniß des Flintglases und der Zahl 1·600 und multiplicirt die erste Differenz mit C, die zweite mit D, so geben die Producte die erforderlichen Correctionen, welche entweder addirt oder subtrahirt werden müssen. Ist nämlich das gegebene Brechungsverhältniß des Kronglases größer, als das der Tafel (1·5), (wie es immer der Fall sein wird), so muß die Correction zu der Zahl B addirt, im entgegengesetzten Falle aber davon subtrahirt werden. Gerade so verhält es sich auch mit der Correction wegen des Flintglases. Also wäre die Rechnung folgende:

Brechungsverhältniß des Kronglases	= 1·512
Brechungsverhältniß der Tafel	= 1·500
Unterschied	= 0·012
multiplicirt C	= 1·542
Correction wegen des Flintglases	= 0·018504 (zu addiren).

Brechungsverhältniß des
Flintglases . . . . . = 1·623
Brechungsverhältniß der
Tafel . . . . . . = 1·600

Unterschied = 0·023
multiplicirt mit D = 0·541

Correction wegen des
Flintglases . . . . = 0·012443 (zu addiren).
B = 1·00888
0·018504 } addirt.
0·012443

Vorderer Halbmesser der
Flintglaslinse . . . = 1·03983.

Die Werthe von B, C und D müssen natürlich so gewählt werden, wie sie dem gegebenen Zerstreuungsverhältniß entsprechen.

Um noch den zweiten Halbmesser der Flintglaslinse zu finden, sucht man in der Tafel II die dem gegebenen Brechungsverhältniß des Kronglases entsprechende Zahl M und multiplicirt sie mit dem gegebenen Zerstreuungsverhältniß, das Product aber wieder mit dem vordern Halbmesser der Flintglaslinse, zieht von diesem Producte die 1 ab oder umgekehrt, und dividirt mit dem Product in den genannten Halbmesser. Hierbei muß aber bemerkt werden, daß, wenn 1 größer ist, als das Product, von dem man sie abziehen will, die Hinterfläche der Flintglaslinse conver wird, im entgegengesetzten Falle aber hohl. Die ganze Rechnung wird am leichtesten mit Logarithmen auf folgende Weise geführt:

Log. der Zahl M . . . . . . 0·2919214
Log. des Zerstreuungsverhältnisses . . . . 0.8280151 — 1
Log. des vordern Halbmessers der Flintglaslinse . . . 0·0169623

Summe der Logg. 0·1368988

Zahl =	1·370563	
davon	1	subtrahirt
Rest	0·370563 R.	

Hieraus sieht man schon, daß die vierte brechende Fläche hohl ist, weil das Product, von dem 1 subtrahirt werden muß, größer ist als 1.

Log. des vordern Halbmessers der Flintglaslinse	0·0169623
Log. des Restes R	0.5688620 — 1 abgezogen
	0·4481003
Zahl =	2·8061 hinterer Halbmesser der Flintglaslinse.

Wir bemerken hierbei noch, daß, wenn der Rest R = o werden würde, die Hinterfläche der Flintglaslinse eben sein müßte.

Um endlich noch die Brennweite des Doppelobjectivs zu finden, multiplicirt man die Zahl M mit dem Zerstreuungsverhältniß, das Produkt dann wieder mit dem um 1 verminderten Brechungsverhältniß des Flintglases, zieht das Product von der, dem Brechungsverhältniß des Kronglases entsprechenden Zahl N ab, und dividirt mit der Differenz in 1. Auch diese Rechnung führt man am bequemsten mit Logarithmen so:

Log. der Zahl M	0·2919214
Log. des Zerstreuungsverhältnisses	0·8280151 — 1
Log. des um 1 verminderten Brechungsverhältnisses des Flintglases	0·7944880 — 1
Summe	0.9144245 — 1
Zahl =	0·8211538
N =	1·00163
Unterschied =	0·1804762 · U.
Log. U . . . . =	0·2564200 — 1
von o subtrahirt =	0·7435800
Zahl =	5·54090 Brennweite des Doppelobjectivs.

Hierbei ist also, wie schon oben bemerkt wurde, die Brennweite der Kronglaslinse als Einheit angenommen; will man daher, wie man es in der Regel wünscht, zur Einheit lieber die Brennweite des Doppelobjectivs annehmen, so muß man mit dieser alle übrigen Maße dividiren. Man erhält da für gegenwärtigen Fall folgende Zusammenstellung, woneben zugleich noch die Einrichtung eines Objectivs von 60 Zoll Brennweite aufgeführt ist:

Brennweite des Doppelobjectivs . . .	= 1.00000	60.000	Zoll	
Halbmesser jeder Fläche der Kronglaslinse .	= 0.18481	11.089	„	convex
Vorderer Halbmesser der Flintglaslinse . .	= 0.18766	11.260	„	hohl
Hinterer Halbmesser der Flintglaslinse . .	= 0.50643	30.386	„	„
Oeffnung des Objectivs	= 0.06436	3.862	„	

Die Oeffnung fällt hier demnach nicht sehr bedeutend aus, obschon der hier vorkommende Brechungswinkel ziemlich groß ist, und wohl bis auf 20 Grad geht. Der Grund hiervon liegt in dem geringen Unterschiede der zerstreuenden Kräfte beider Glasarten, denn es ist deren Verhältniß:

$$\frac{m - 1}{n - 1} \cdot \frac{dn}{dm} = 0{\cdot}819.$$

Solche Glasarten sind daher zu achromatischen Fernröhren weniger tauglich.

Um nun noch den andern Halbmesser einer Linse zu finden, muß man vorher den Werth von M suchen, welcher dem Kronglase mit der Brechung 1·5334 = E entspricht, zu welchem Zwecke man interpoliren muß; nämlich:

Nächst kleineres	E = 1·533	. .	M = 1·881229	
„ größeres	= 1·534	. .	M = 1·877700	
Unterschied	0·001 (I)	Untersch.	0·003429	(II)

Unterschied des nächst kleineren E von gegebenen = 0·004 (III), daher die Proportion:

(I)		(II)		(III)		
0·001	:	0·003429	=	0·0004	:	Correction von M

$$\text{Correction von M} = \frac{0·003429 \times 0·0004}{0·001} = 0.0013716$$

zum nächst kleineren E
gehöriges M . . . = 1·881229
Correction . 0·0013716 zu subtrahiren

richtiges M = 1·8798574 = 1·879857

und nun wird die Rechnung eben so fortgeführt, wie schon in den beiden vorigen Beispielen gewiesen worden. — Für den Werth von N ist gar keine Interpolation nöthig, da die Zahlen in der Tafel meistens nur um eine 1 in der letzten Stelle sich ändern. Beachtung verdienen die von Littrow vorgeschlagenen dialytischen Fernröhre, bei welchen die beiden Linsen des Objectivs nicht hart an einander stehen, sondern in einer ziemlichen Entfernung aufgestellt sind. Bei dieser Vorrichtung reichen nämlich kleinere Flintglasstückchen aus. Die hohle Flintglaslinse (Taf. XXII, Fig. 9) braucht nämlich nur so groß zu sein, daß sie den Strahlenkegel M N C auffängt, welcher von den auf die ganze Fläche der convexen Kronglaslinse A mit der Axe parallel auffallenden und von ihr nach dem Brennpunkte C zugebrochenen Strahlen gebildet wird. Wenn aber solche Fernröhre mit Vortheil gebaut werden sollen, so sind solche Glasarten erforderlich, deren zerstreuende Kräfte weit verschiedener sind, als bei dem bisherigen Flint- und Kronglas. Auf Littrow's Vorschlag hat der Optiker Plößl in Wien solche Fernröhre wirklich verfertigt, und eines davon befindet sich auf der Wiener Sternwarte, welches, bei einer Länge von 4 Fuß, 4 Zoll Oeffnung besitzt und selbst einen Fraunhofer'schen Refractor von 6 Fuß Länge übertreffen soll. Das Verhältniß der Brennweiten beider Linsen läßt sich leicht aus der Formel berechnen:

$$q = \frac{n - 1}{m - 1} \cdot \frac{dm}{dn} \cdot \frac{(p - d)^2}{p},$$

wo q die Brennweite der Hohllinse, m ihre mittlere Brechung, dm ihre Zerstreuung und d ihren Abstand von der Convexlinse bedeutet; p ist die Brennweite der Convexlinse, n ihr Brechungsverhältniß, dn ihre Zerstreuung.

Es sei z. B.

$$\begin{aligned} p &= 2 \text{ Fuß} \\ d &= 1 \text{ „} \\ n &= 1.55 \\ dn &= 0.006 \\ m &= 1.62 \\ dm &= 0.03, \end{aligned}$$

so ist $\frac{n - 1}{m - 1} \cdot \frac{dm}{dn} = \frac{0{\cdot}55}{0{\cdot}62} \cdot \frac{0.03}{0{\cdot}006} = 4{\cdot}4355$

und $q = 4.4355 \times \frac{(2 - 1)^2}{2} = 2.2177$ Fuß. Hieraus findet sich der Abstand des Bildes eines unendlich weit entfernten Objects von der zweiten Linse ungefähr = 1.82, so daß die Länge das Rohrs = 2.82 Fuß betragen würde; die zweite Linse braucht aber nur halb so groß zu sein, als die erste.

Littrow giebt in seiner Dioptrik folgendes Beispiel einer genauen Rechnung, wobei das Brechungsverhältniß des Kronglases = 1.53, seine Zerstreuung = 0.006, das Brechungsverhältniß des Flintglases = 1.58, seine Zerstreuung = 0.036 genommen ist.

Brennweite der Kronglasglaslinse	=	1.00000	
Halbmesser jeder Fläche .	=	1.06000	convex
Abstand der Flintglaslinse	=	0.63520	
Halbmesser d. Vorderfläche	=	0.16188	hohl
Halbmesser d. Hinterfläche	=	0.26218	convex
Länge des Rohrs . . .	=	1.36476	
Oeffnung d. vordern Linse	=	0.16928	der Länge d. Rohrs
Oeffnung d. zweiten Linse	=	0.06175	„ „ „ „

Also ist bei einer Länge des Rohrs von 2 Fußen die Oeffnung der ersten Linse = 4.062 Zoll, die der zweiten aber nur 1.482 Zoll.

§. 158. Objective von Steinheil.

Steinheil hat in der neuesten Zeit in der Sitzung der mathematisch-physikalischen Klasse der Academie der Wissenschaften in München einen Vortrag über Verbesserung der Objective gehalten, den wir seines werthvollen Inhalts wegen nach den Gelehrten-Anzeigen folgen lassen. Steinheil sagt:

Alle wesentlichen Verbesserungen des Fernrohrs waren, bewußt oder unbewußt, stets nur darauf gerichtet, seine Länge zu vermindern. Denn die Fehler aller Art im Bilde einer einfachen positiven Glaslinse können beliebig klein gemacht und unter die Empfindlichkeit des Auges gebracht werden, wenn die Oeffnung dieser Linse auf das entsprechende Maß reducirt wird.

Dieses einfachste Fernrohr bekommt aber schon für einige Zoll Oeffnung eine so ungeheure Länge, daß alle practische Anwendbarkeit aufhört. Eine neue Epoche für die Dioptrik trat daher ein durch Dollond's Erfindung des achromatischen Objectivs. Aber alle größeren Dollond'schen Fernröhre haben noch mehr als die doppelte Länge der Fraunhofer'schen und müssen diese haben, wenn die Angulär-Abweichungen im Bilde gleich groß werden sollen. Das Fraunhofer'sche Objectiv bildet daher einen wesentlichen Fortschritt im Vergleich mit den englischen. Dies wollen wir näher begründen. Es läßt sich nämlich zu jeder positiven Crownglaslinse eine negative Flintglaslinse finden, welche mit ihr — im gewöhnlichen Sinne des Wortes — ein achromatisches Objectiv bildet, d. h., welche zwei Strahlen von mittlerer Brechbarkeit und einen dritten von anderer Brechbarkeit, die parallel zur Axe des Objectivs einfallen, in einem Punkte in die Axe zusammenführt. Ist nun einer dieser mittleren Strahlen der Axe des Objectivs unendlich nahe

der andern an den Rand des Objectivs gelegt und man untersucht, immer unter der Voraussetzung sphärischer Gestalten und homogener Brechung der Glasarten, die Lage dieser Strahlen mittlerer Brechbarkeit zwischen Axe und Rand, so treffen sie, wie man ein bestimmtes Oeffnungsmaß des Objectivs überschreitet, nicht mehr mit dem Durschnitte des Axen- und Randstrahls zusammen, sondern sie schneiden die Axe früher und es hängt jetzt nur von der Gestalt der Crownglaslinse ab, wie groß diese Abweichung, die, wie Gauß gezeigt hat, in $\frac{2}{3}$ der Oeffnung ihr Maximum hat, überhaupt werden soll. Diese Abweichung kann daher als das Oeffnungsmaß eines Objectivs betrachtet werden. Denn die größtmögliche Oeffnung für ein Doppelobjectiv wird diejenige sein, bei welcher diese Abweichung ein Minimum wird. Die absolute Größe, welche sie erreichen darf, hängt von der verlangten Vergrößerung ab und muß stets so gewählt werden, daß der durch das Ocular vergrößerte Angulärfehler nicht 45″ oder die Empfindlichkeit des Auges übersteigt. Hieraus erklärt sich, weshalb kleine Fernröhre verhältnißmäßig größere Oeffnungen als große ertragen.

Fraunhofer war es vorbehalten, diesen Zusammenhang zu erkennen. Sein Objectiv beruht nicht auf den Bedingungen, die Herschel u. A. zu Grunde legten, sondern lediglich darauf, die der Axe parallel einfallenden Strahlen mittlerer Brechbarkeit in einem Punkte zu vereinigen, oder nur solche Abweichungen zu statuiren, die mit Rücksicht auf die Vergrößerung unter der Grenze der Sensibilität des Auges bleiben. So kann man also sagen, Fraunhofer's Objectiv hat die größtmöglichste Oeffnung oder sein Fernrohr ist bei gegebener Oeffnung möglichst kurz.

Untersucht man nun in Fraunhofer's Objectiv auch die Lagen der Strahlen einer andern Brechbarkeit oder den sogenannten farbigen Strahl, so läßt sich dieser nur in einem Punkte mit den übrigen Strahlen vereinigen. Bewirkt man z. B. diese Vereini-

gung für $\frac{2}{3}$ der Oeffnung des Objectivs, so schneidet der farbige Randstrahl später, der farbige Axenstrahl früher als die mittleren die Axe, und da über alle Elemente des Objectivs bereits disponirt ist, bleibt keine Möglichkeit, auch diesen über die ganze Oeffnung des Objectivs mit den mittlern Strahlen zusammen zu bringen.

Dieser Fehler des Fraunhofer'schen Objectivs oder, wenn man will, des besten möglichen Doppelobjectivs läßt sich nur auf Kosten der Oeffnung vermindern.

Gauß hat zwar ein Objectiv berechnet, welches parallel zur Axe einfallende Strahlen am Rand und in der Axe, und zwar von zweierlei Brechbarkeit, also vier Strahlen in einem Punkte vereinigt. Er zeigt aber selbst, daß dann eine beträchtliche Abweichung für die Strahlen in $\frac{2}{3}$ der Oeffnung eintritt. Wollte man diese verschwindend klein machen, was sich stets erreichen läßt, da die Abweichung nahe biquadratisch mit der Oeffnung abnimmt, so würde letztere so sehr vermindert, daß auch, abgesehen von andern Uebelständen, diese Construction der Fraunhofer'schen weit nachstände.

Eine Verbesserung gegen das Fraunhofer'sche Objectiv wäre sonach nur dadurch zu erreichen, daß man den farbigen Strahl über die ganze Oeffnung zu den mittlern Strahlen brächte, ohne dabei eine Abweichung für die $\frac{2}{3}$ Strahlen entstehen zu lassen, was natürlich mehr als zwei Linsen erfordert. Sollte aber zugleich die Oeffnung beträchtlich größer werden als bei Fraunhofer, so müßte gleichzeitig die Abweichung der $\frac{2}{3}$ Strahlen mit denen des Randes und der Axe, und zwar für zweierlei Brechbarkeit gehoben werden, was die Annahme von vier Linsen bedingt.

Diese Aufgabe hat S. nun gelöst durch ein Objectiv, welches aus zwei Crownglas- und zwei Flintglaslinsen besteht. Dieses Objectiv vereinigt Strahlen, welche parallel zur Axe einfallen, für zweierlei Brechbarkeit am Rande, in $\frac{2}{3}$ und in der Axe, also sechs Strahlen. Es kann betrachtet werden als bestehend aus einer

Crownglaslinse, deren Farben und Gestaltfehler in drei verschiedenen Abständen von der Axe aufgehoben werden, durch ein nachfolgendes negatives Objectiv, was aus zwei Flintgläsern und einem Crownglas zusammengesetzt ist. Das negative Objectiv hat jedoch eine weit größere Brennweite, als die Crownglaslinse, obschon die Fehler in beiden gleich groß und nur im Zeichen entgegengesetzt sind. Farben und Gestalt sind sonach bei diesem Objectiv in höherer Ordnung gehoben, als bei den jetzigen. (Wollte man das negative Objectiv blos aus zwei Linsen, Crown und Flint, construiren, so könnten entweder nur die mittlern Strahlen in $\frac{2}{3}$ oder nur die Farben mit Axe und Rand vereinigt werden, immer unter der Voraussetzung, daß die Gestalt der positiven zu compensirenden Crownglaslinse willkürlich bleibt. Letzteres ist durchaus nöthig, um nicht, wie Gauß, auf wenig Wurzelwerthe beschränkt zu werden, deren Brauchbarkeit durch anderweitige Rücksichten oft problematisch bleibt. So aber ist stets eine ganze Reihe von Objectiven möglich, von welchen jedes sämmtlichen Bedingungen entspricht. Unter diesen muß dann dasjenige gewählt werden, was das größte Oeffnungsmaß bekommt.) Setzt man die Oeffnung $\frac{1}{6}$ der Brennweite, so treten wieder Abweichungen noch höherer Ordnung hervor zwischen Rand und $\frac{2}{3}$ und zwischen $\frac{2}{3}$ und Axe. Aber sie betragen nicht 0 • 2″ Bogensecunde und sind daher für eine 200malige Vergrößerung erst an der Grenze der Wahrnehmbarkeit des Auges. Sollte die Vergrößerung stärker werden, so müßte die Oeffnung kleiner sein. Ein Fernrohr von 3 Zoll Oeffnung wird mit diesem Objectiv nur 15 Zoll Länge bekommen. Ein 4zölliger Refractor wird 2 Fuß lang, während er jetzt 5 Fuß lang ist. Das Bild aber dieser neuen Fernröhre unterscheidet sich von dem der jetzigen dadurch wesentlich, daß man auch beim Schwanken mit dem Auge keine farbigen Bildersäume bekommt, da das Objectiv halb verdeckt werden kann, ohne daß Farben sichtbar werden. Wir brauchen nicht erst darauf aufmerksam zu machen, welche

Vortheile aus der Benutzung dieser Fernröhre für die Meßinstrumente hervorgehen werden. Denn mit der optischen Kraft wächst bekanntlich die Genauigkeit der Messung.

Allein es sei uns gestattet, hier noch mit einigen Worten der Anwendung dieses Principes auf Mikroskope zu erwähnen.

Im Allgemeinen kann man sagen, daß durch Verkürzung der Brennweiten die Fernröhre nur an Anwendbarkeit gewinnen. Ganz anders verhält es sich aber bei den Mikroskopen. Hier nimmt die Wirkung caet. par. direct mit dem Oeffnungsmaße zu. Ein Mikroskop von 20° Licht läßt keine Spur von dem erkennen, was bei 40° Licht mit derselben Vergrößerung sichtbar wird. Aber unsere besten Mikroskope von 100 bis 150° Licht geben so beträchtliche Gestaltfehler, daß sie zu organischen Untersuchungen schlechterdings untauglich sind. Nach demselben Princip wie bei den Fernröhren kann man nun Mikroskop-Objective construiren, welche aus zwei vierfachen Objectiven bestehen und nicht nur die Gestalt- und Farbenfehler in drei, sondern in fünf verschiedenen Abständen von der Axe aufheben. Wird nun zugleich bei solchen Objectiven der absolute Maßstab vergrößert, so daß dieselben nicht wie jetzt 1 Linie, sondern 10 Linien Oeffnung erhalten, so wird der Beugungsfehler 10mal kleiner, und die sphärischen Gestalten werden bei derselben absoluten Fehlergrenze 10mal genauer. Es ist zwar die Durchführung dieser neuen Mikroskope noch eine erhebliche Arbeit, allein sie steht nicht im Vergleich zu der ersten hier gelieferten, und so hofft S., der sehr geehrten Classe die ausgeführten Instrumente, Fernrohr und Mikroskop, bald vorlegen zu können.

§. 159. Von den Ocularen.

Da bei einem Doppelobjective die Farbenzerstreuung und die Abweichung wegen der Kugelgestalt wegge-

bracht sind, so fallen nun auch alle die Rücksichten weg, welche man bei einem einfachen Objectiv auf jene Fehler nehmen mußte, und die Vergrößerung eines Fernrohrs wird nun hauptsächlich nur durch die ihm nothwendige Lichtstärke, dann auch durch das Gesichtsfeld beschränkt. Da aber bei gleichen Brennweiten ein Doppelobjectiv eine weit größere Oeffnung verträgt, als ein einfaches, so kann man auch bei ersterem die Vergrößerung viel weiter treiben, als bei dem letzteren, weil die Lichtstärke, welche im Verhältniß der Quadrate der Vergrößerung abnimmt, in eben dem Verhältniß durch die erweiterte Oeffnung wieder wächst. Wenn ein Doppelobjectiv die Oeffnung hat, bei welcher der Rest der Kugelabweichung unmerklich wird, so verträgt es ein Ocular von ½ Zoll Brennweite, ohne daß die Lichtstärke zu sehr geschwächt wird, und wenn daher die Brennweite des Objectivs in Zollen = p ist, so ist die zuläßige Vergrößerung = 2 p, so daß man mit einem Objectiv von z. B. 60 Zoll Brennweite eine = 2 × 60 = 120fache Vergrößerung hervorbringen darf. Sollte diese Vergrößerung mit einem einfachen Objectiv hervorgebracht werden, so wäre dazu, nach Huyghens, eine Brennweite von etwa 420 Zollen erforderlich, nach Mayer mehr als 1200 Zoll, so daß im letztern Falle das Fernrohr wenigstens 7 mal, oder wohl gar 20 mal länger sein müßte, als im ersten. Hieraus leuchtet der große Werth der achromatischen Objective zur Genüge ein.

Nicht immer braucht man jedoch die eben bezeichnete Vergrößerung, sondern oft wählt man eine geringere, um eine größere Helligkeit zu erreichen. Die größte Helligkeit, die man mit einem Fernrohr erhalten kann, ist der mit bloßen Augen gleich, und die Vergrößerung, bei der sie stattfindet, wird gefunden, wenn man die Oeffnung des Objectivs in Zollen mit 0·06 dividirt. Ist z. B. die Oeffnung des Objectivs = 4 Zoll, so findet die größte Helligkeit bei einer Vergrößerung $\frac{4}{0 \cdot 06}$ = 67mal statt, und diese Vergrößerung ist zugleich die

geringste, die man an einem Fernrohre anzubringen pflegt.

Die stärkste Vergrößerung aber findet ihre vorzüglichste Grenze in der Kürze der Brennweite des Oculars, welche nicht gut unter $\frac{1}{5}$ Zoll sein kann, wenn nicht eine zu große Verengung des Gesichtsfeldes und eine bedeutende Verzerrung der Bilder am Rande desselben eintreten soll. Wenn daher die Brennweite des Objectivs in Zollen = p ist, so ist die stärkste Vergrößerung = 5 p, bei 60 Zoll Brennweite also = 5 · 60 = 300mal. Daher giebt man Fernröhren von größerer Länge mehrere Oculare, um verschiedene Vergrößerungen hervorzubringen, und Fraunhofer pflegte dieselben so zu nehmen, daß jede schwächere Vergrößerung $\frac{2}{3}$ von der nächst vorhergehenden stärkern betrug. So hat er z. B. für 60 Zoll Brennweite des Objectivs 270-, 180-, 120-, 80- und 54malige Vergrößerung. Bei den geringern Vergrößerungen sind die Oculare zusammengesetzt, in der Art, die wir nachher beschreiben werden, aber stärkere Vergrößerungen werden gewöhnlich nur mit einem einfachen Oculare hervorgebracht. —

§. 160. Sonnenocular von Pohl.

Wenden wir uns hier gleich zu Vorrichtungen, die an den Ocularen bei Beobachtungen heller Gestirne, namentlich der Sonne, angebracht werden müssen, zu den Sonnenocularen. In der neuesten Zeit hat J. Pohl in Wien den Vorschlag zur Construction eines Sonnenoculars gemacht, die sich bis jetzt bewährt hat. Da die Blendgläser durchaus nicht practisch sind, namentlich, was die Farbe anbetrifft, nicht die rothen, da sie nach Brücke's Untersuchungen die Licht und Wärmestrahlen hindurchgehen lassen, also das Auge afficiren, (nur die grünen absorbiren die Wärmestrahlen) so hat man, abgesehen von Verzerrungen, welche durch ungleich dicke Gläser hervorgerufen werden, daran ge-

dacht, allen vorkommenden Uebelständen abzuhelfen, und Pohl ist dieses am meisten gelungen. Er bediente sich zweier dünner, parallel der Axe geschliffener Plättchen von dunkelm Turmalin, deren jedes für sich in die Mitte eines dünnen runden Planglases mit Canadabalsam gekittet ist. Diese bilden nun einen Polarisationsapparat (siehe weiter unten Polarisation).

Bei sogenannter paralleler Stellung verschlucken die Turmaline ganz kleine Mengen des auf sie fallenden Lichtes und färben der Dünne wegen beim Durchgange dasselbe nur unbedeutend bräunlich. In gekreuzter Stellung dagegen findet für gewöhnliches Licht vollständige Absorbtion statt, und nur das volle Sonnenlicht durchdringt so die Platten, daß die Sonnenscheibe wie durch das dunkelste Blendglas gesehen erscheint. Bringt man nun die beiden Turmaline in eine Fassung, so daß der eine fest, der andere drehbar ist, und beide in einiger Entfernung von einander liegen, so hat man nicht nur ein leicht verschiebbares Sonnenocular, das, je nachdem man mehr oder weniger Licht hindurch lassen will, leicht regulirbar ist, sondern man kann damit auch die Lichtstärke solcher leuchtenden Objecte bestimmen, die kein polarisirtes Licht aussenden. —

§. 161. Ocular des holländischen Fernrohrs.

Das Ocular des holländischen Fernrohrs macht man planconcav und kehrt die hohle Seite dem Auge zu, weil die Kugelabweichung dieser Linsen dann der kleinstmöglichen sehr nahe kommt. Das zusammengesetzte Ocular des holländischen Fernrohrs zu erhalten, hat man zwischen das Objectiv und das hohle Ocular noch ein convexes Glas, das Sammelglas, eingesetzt, und diese Vorrichtung kann zugleich auch dienen, die Kugelabweichung der Oculare ganz zu vernichten. Die Einrichtung ist in folgenden Formen enthalten:

Brennweite des Objectivs $= p$
Vergrößerungszahl . . $= m$

Abstand des convexen Oculars von Objectiven . $= \left(\frac{m-1}{m+1}\right) p$

Brennweite des convexen Oculars . . . . . . $= \frac{m-1}{(m+1)^2} p$

Abstand d. hohlen Oculars vom convexen . . . $= \frac{(m-1)^2 p}{m(m+1)(3m+1)}$

Zerstreuungsweite des hohlen Oculars . . . . . $= \frac{m-1}{m(3m+1)} p$

Gesichtsfeld . . . $= \frac{206 \cdot 28}{p} \times \frac{3m+1}{2(m-1)}$ Minuten,

wobei die Oeffnung des Auges = 0·06 genommen ist.

§. 162. Zusammengesetztes Ocular des holländischen Fernrohrs.

Dieses zusammengesetzte Ocular läßt sich sowohl bei einem einfachen, als auch bei einem zusammengesetzten Objective brauchen. Es ist hierbei noch ein convexes Sammelglas zwischen Objectiv und Ocular eingesetzt. — Es ist nicht rathsam, dieses Ocular an ein achromatisches Objektiv anzubringen, weil, wie man gesehen hat, die Vergrößerung offenbar durch die allzu sehr gekrümmte Concavlinse leidet. Denn der Vortheil wegen des aufgehobenen farbigen Randes ist hier, wo immer das Gesichtsfeld nicht sehr groß ist, nur unbedeutend, so daß man sich mit einem einzigen planconvexen Oculare begnügen kann, wie es die besten Künstler thun.

§. 163. Das zusammengesetzte achromatische Ocular der ersten Klasse des astronomischen Fernrohrs.

Es besteht aus zwei getrennt aufgestellten Converggläsern von derselben Glasart, namentlich von Crownglas, welches seiner geringen Farbenzerstreuung halber

zu allen Ocularen verwendet wird. Die Einrichtung ist folgende:

Brennweite des Objectivs $= p$

Vergrößerung . . . . $= m$

Abstand des ersten Oculars vom Objectiv $= \frac{m - 1}{m} p$

Brennweite dieses Oculars . . . . $= \frac{2p(m - 1)}{m(m + 1)}$

Abstand des Bildes vom ersten Oculare $= \frac{2p(m - 1)}{m(3m - 1)}$

Brennweite des zweiten Oculars . . . . $= \frac{2p(m - 1)}{m(3m - 1)}$

Abstand beider Oculare . . . . $= \frac{4p(m - 1)}{m(3m - 1)}$

Ort des Auges . . . . $= \frac{2p(m^2 - 1)}{m^2(3m - 1)}$

Bei starken Vergrößerungen ist indessen folgende einfache Einrichtung genügend:

Brennweite der ersten Oculars . . . . $\frac{2p}{m} = q$

Abstand des Bildes vom ersten Ocular $\frac{2p}{3m} = \frac{1}{3} q$

Brennweite des zweiten Oculars . . . $\frac{2p}{3m} = \frac{1}{3} q$

Abstand beider Oculare . . . . $\frac{4p}{3m} = \frac{2}{3} q$

Ort des Auges . . . . $\frac{1}{3} q$.

Also muß die Brennweite des ersten Oculars 3mal so groß sein, als die des zweiten, und das Bild fällt genau in ihre Mitte. Ehe also das Bild des Objectivglases zur Wirklichkeit kommt, werden die Strahlen vom ersten Oculare (dem Collectivglase) aufgefangen und dadurch in einem engern Raum zusammengebracht, so daß man an Vergrößerung verlieren würde, wenn nicht das zweite Ocular eine kürzere Brennweite hätte, als das einfache Ocular bei derselben Vergrößerung. Die Ver-

größerung des zusammengesetzten Oculars ist gerade so groß, als die bei einem einfachen Oculare stattfindende, dessen Brennweite der halben Brennweite des Collectivglases gleich ist. Die Oeffnung eines jeden Oculars ist seiner halben Brennweite gleich, und in der Mitte beider, am Orte des Bildes, befindet sich eine Blendung, welche ¾ der Oeffnung des ersten Oculars als Oeffnung erhält. Diese Blendung darf nicht zu sehr verengt werden, damit das Gesichtsfeld nicht leide, welches hier zweimal so groß werden kann, als bei einem astronomischen Fernrohre mit einfachem Ocular, das gleich stark vergrößert. Die Größe des Gesichtsfeldes ist $\frac{3438}{m+1}$ Minuten, während es bei einfachem Ocular nur $\frac{1719}{m+1}$ Minuten beträgt.

Beide Gläser sind planconvex und kehren die erhabenen Seiten nach dem Objective hin, wobei das erste Ocular um $p - \frac{p}{m}$ vom Objective absteht, also um die Hälfte seiner Brennweite über den Brennpunkt des Objectivs hinausgeht; sie werden in zwei ineinander verschiebbare Röhren eingefaßt, damit man versuchsweise am besten diejenige Entfernung zwischen ihnen finden kann, bei welcher der farbige Rand am meisten verschwindet. Diese Entfernung muß man genau bemerken. — Daß übrigens die Ocularröhre selbst beweglich sein müsse, um sie nach der größern oder geringern Entfernung der Objecte, so wie nach der Verschiedenheit der Augen verschieben zu können, versteht sich von selbst. Die Eigenschaften dieses Oculars, welches vor allen andern so große Vorzüge besitzt und ohne welches ein Fernrohr nicht vollkommen ist, wenn auch das Objectiv mit noch so großer Präcision ausgearbeitet wäre, wollen wir nun etwas erörtern. Zuerst aber ist klar, daß das Gesichtsfeld doppelt so groß werden kann, als bei einem einfachen Oculare mit derselben Vergrößerung; denn die

Brennweite der ersten Ocularlinse ist doppelt so groß, als die der einfachen Linse, welche dieselbe Vergrößerung hervorbringt, und folglich kann auch im ersten Falle die Ocularöffnung doppelt so groß werden, als im zweiten, wodurch das Gesichtsfeld in eben dem Maße wächst. Von der ersten Ocularlinse werden nun die äußersten Hauptstrahlen nach der Axe zu gebrochen, aber ehe sie diese treffen, von der zweiten Linse aufgefangen.

Die Stellung des Objectivs A (Taf. XVIII, Fig. 5) und der beiden Oculare B und C ist nämlich so, daß das Bild des Objectivs gerade auf das letzte Ocular C fallen würde, wenn das Glas B herausgenommen würde, aber eben dieses Glas zieht es bis in den Brennpunkt D der Linse C zurück, so daß nun aus C die Strahlen unter sich parallel austreten und deutliches Sehen stattfindet. Dabei wird der Hauptstrahl A E vom Glase B in die Richtung E G gebrochen, von der Linse C aufgefangen und in die Richtung G K gebracht.

Der Hauptstrahl A E aber, welcher aus dem Objectiv A farblos heraustritt, wird von der Linse B in die prismatischen Farben gespalten, so daß der rothe Strahl in G, der stärker gebrochene violette aber in G' die Linse C trifft. Beide können nun zwar durch eine convexe Linse nicht in demselben Punkte der Axe wieder vereinigt werden, allein dieses ist nicht einmal nöthig, da dadurch der farbige Rand nicht aufgehoben werden würde; aber man kann die convexe Linse C so stellen und ihre Brennweite so wählen, daß der rothe Hauptstrahl G K mit dem violetten G' K' und mit allen zwischenliegenden heterogenen Strahlen parallel wird, wodurch natürlich der Lichtcylinder G G', K' K weiß wird und der farbige Rand verschwinden muß.

§. 164. Das astronomische Doppelocular zweiter Klasse.

Dieses ist in folgenden Formeln enthalten, die Littrow in seiner Dioptrik angiebt, wobei die Buchstaben

p und m die schon genannte Bedeutung haben. Wir bemerken noch, daß das Bild hier, nicht wie vorhin, zwischen beide Oculare fällt, sondern unmittelbar vom Objective hervorgebracht wird und zwischen diesem und dem ersten Oculare liegt. Es wird daher durch beide Oculare, die wie ein Sammelglas wirken, eben so betrachtet, wie mit einem einfachen Oculare. Die Brennweite der ersten Linse gleich der doppelten Brennweite des Objectivs, dividirt durch die Vergrößerungszahl $\frac{2p}{m}$.

Die Brennweite der zweiten Linse $\frac{5}{9}$ der ersten.

Die Entfernung beider Linsen . $\frac{4}{9}$ der Brennweite des ersten Glases.

Die Brennweite der gleich stark vergrößernden einfachen Linse gleich der halben Brennweite des ersten Glases.

Die Oeffnungen beider Linsen betragen die Hälfte ihrer Brennweiten.

Die Entfernung des Bildes von der ersten Linse ist $\frac{1}{10}$ der Brennweite derselben.

Ort des Auges $= \frac{5}{18}$ von der Brennweite der ersten Linse.

Wollte man z. B. mit einem solchen Oculare bei 60 Zoll Brennweite des Objectivs eine 180fache Vergrößerung herstellen, so hätte man die Brennweite der ersten Linse $= \frac{2 \cdot 60}{180} = \frac{120}{180} = \frac{2}{3}$ Zoll, die Brennweite der zweiten $= \frac{5}{9} \times \frac{2}{3} = \frac{10}{27}$ Zoll, den Abstand beider $= \frac{4}{9} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{27}$ Zoll, die Entfernung des Bildes von der ersten Linse $= \frac{1}{10} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{15}$ Zoll, den Ort des Auges endlich $= \frac{5}{18} \times \frac{2}{3} = \frac{5}{27}$ Zoll.

Beide Linsen werden planconvex mit einander entgegengekehrten Convexitäten.

Ein Nachtheil dieses Oculars ist der, daß das Bild sehr nahe an der ersten Linse liegt, wodurch die Unvollkommenheit der ersten Fläche dieses Glases und der auf ihr liegende Staub sehr sichtbar werden. Man

muß daher diese Fläche sehr vollkommen poliren und sie vor dem Gebrauche des Instrumentes von Schmutz sorgfältig reinigen.

§. 165. Das dreifache terrestrische Ocular.

Es hat den Zweck, das verkehrte Bild des Objectivs wieder in die aufrechte Stellung zu bringen. Es seien A, B und C (Taf. XVIII, Fig. 6) die drei Oculare des Objectivs, welche planconvex zu machen und in die Ocularröhre so zu stellen sind, wie es die Figur an die Hand giebt. Die beiden Gläser A und B stehen um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab, aber das Bild des Objectivs fällt näher an die Linse A, als deren Brennpunkt, so daß die Strahlen aus A divergirend heraustreten, so, als kämen sie aus dem Punkte F′, welcher von A um die Brennweite der Linse B absteht. Die Linse B sammelt sich wieder in G zu einem aufrechten Bilde, welches gerade in den Brennpunkt der Linse C fällt, so daß aus derselben die Strahlen, die von einem und demselben Punkte des Objects herkommen, unter sich parallel ausfahren und deutliches Sehen bewirkt wird.

Nennen wir die Brennweite der drei Linsen p, q und r, wie sie der Reihe nach vom Objective folgen, so sind die Entfernungen, bei welchen der farbige Rand gehoben wird, folgende:

Abstand der ersten und zweiten Linse $= p + q$

Abstand der zweiten und dritten $= q + r + \frac{q^2}{p+q}$

Entfernung der ersten Linse vom Bilde des Objectivs $= \frac{p\,q}{p+q}$

Brennweite der einfachen Linse, welche mit dem Objective dieselbe Vergrößerung hervorbringt, als das zusammengesetzte Ocular $= \frac{p\,r}{q}$

Vergrößerung des Rohrs, wenn die Brennweite des Objectivs $= F$ festgesetzt wird $\frac{F\,q}{p\,r}$

Entfernung des Auges von der dritten Linse gleich der Brennweite derselben . . r.

Die Oeffnung der ersten Linse ist ihrer halben Brennweite gleich, die der beiden andern $\frac{p}{q}$ der ersten. Man kann auch die Oeffnung aller Linsen gleich machen, nur daß sie nicht größer werden, als die halbe Brennweite.

Die Blende kommt in den Brennpunkt des Objectivs zu stehen und ihre Oeffnung wird etwas kleiner gemacht, als die Oeffnung der ersten Ocularlinse.

Das Gesichtsfeld ist dasselbe, wie das eines einfachen astronomischen Fernrohrs mit der ersten Ocularlinse. Hieraus ergiebt sich die Rechnung, wenn die Brennweite jeder Linse $= 1$ gesetzt wird, und auch, wenn die Brennweiten zweier Linsen gleich, also $p=q$ ist.

§. 166. Das vierfache terrestrische Ocular.

Es besteht aus vier planconvexen Linsen von einerlei Glasart, A, B, C, D (Taf. XVIII, Fig. 7), die auf ihrer gemeinschaftlichen Axe aufgestellt sind. — Littrow hat in seiner Dioptrik für dieses Ocular Formeln entwickelt, welche Resultate liefern, die wenigstens bei stärkern Vergrößerungen den Fraunhofer'schen Ocularen sehr nahe kommen.

Ist die Vergrößerungszahl $= m$, die Brennweite des Objectivs $= p$, so hat man

Brennweite der ersten Linse $= \frac{15\,(4m+3)}{32m\,(m-1)}\,p$

Brennweite der zweiten Linse $= \frac{25\,(4m+3)\,(2m-23)}{6m\,(m-1)\,(12m+23)}\,p$

Brennweite der dritten Linse $= \frac{5\,(4m + 3)\,(5m + 4)\,(2m - 23)}{4m\,(m - 1)\,(m + 20)\,(12m + 23)}\,p$

Brennweite der vierten Linse $= \frac{5\,(4m + 3)\,(5m + 4)\,(2m - 23)}{m\,(m + 20)\,(12m + 23)\,(7m + 2)}\,p$

Abstand der ersten Linse vom Objective . $= \frac{4m + 3}{4m}\,p$

Abstand der zweiten Linse v. der ersten . $= \frac{35\,(4m + 3)\,p}{4m\,(12m + 23)}$.

Abstand der dritten Linse v. der zweiten . $= \frac{10\,(4m + 3)\,(2m - 23)}{m\,(m + 20)\,(12m + 23)}\,p$

Abstand der vierten Linse v. der dritten . $= \frac{15\,(4m + 3)\,(5m + 4)\,(2m - 23)}{2m\,(m + 20)\,(12 + 23)\,(7m + 2)}\,p$.

Diese Formeln stimmen, wie gesagt, nur bei den stärkeren Vergrößerungen mit Fraunhofer's Ocularen überein und weichen bei den schwächern sehr ab, werden selbst unbrauchbar, wenn die Vergrößerung $11\frac{1}{2}$ sein soll, weil dann der Factor $2m - 23 = 0$ wird und Brennweiten gäbe, die $= 0$ wären.

Nach Addington sollen sich die Brennweiten der 4 Linsen wie Zahlen 3, 4, 4, 3 verhalten und ihre Abstände wie 4, 6, 5. Die Halbmesser der Flächen sind nach folgenden Verhältnissen auszuführen:

Erste Linse	Vorderfläche	27	convex	beinahe planconvex.
	Hinterfläche	1	=	
Zweite Linse	Vorderfläche	9	hohl	Meniscus.
	Hinterfläche	4	convex	

Dritte Linse	Vorderfläche 1 convex Hinterfläche 21 "	beinahe convex-plan.
Vierte Linse	Vorderfläche 1 convex Hinterfläche 24 "	beinahe convex-plan.

Die Vergrößerung dieses Oculars ist nur wenig unterschieden von der, welche die dritte oder die vierte Linse für sich allein geben würde. Wenn man die Ocularröhre so einrichtet, daß die beiden mittleren Gläser einander näher oder ferner gerückt werden können, so kann man verschiedene Vergrößerungen hervorbringen. So verfertigte Kitchener seine pankratische Ocularröhre, durch welche man mittelst bloßen Ausziehens die Vergrößerung bis auf das Vierfache verstärken kann.

§. 167. Fraunhofer's Ocular.

Es soll noch die Angabe eines Oculars Fraunhofer's, die aus Prechtls Dioptrik entlehnt ist, folgen.

Ocularweite für ein Objectiv von 48 Zoll Brennweite und 57malige Vergrößerung.

1)	Brennweite der ersten Linse	1.58 Zoll.
2)	Brennweite der zweiten Linse . . .	2.38 "
3)	Brennweite der dritten Linse	2.65 "
4)	Brennweite der vierten Linse	1.50 "
5)	Entfernung der ersten Linse von der zweiten	2.57 "
6)	Entfernung der zweiten Linse von der dritten	4.70 "
7)	Entfernung der dritten Linse von der vierten	2.45 "
8)	Entfernung des ersten Bildes oder des Brennpunktes des Objectivs von der ersten Linse	0.713 "
9)	Entfernung des Augenortes von der vierten Linse	0.886 "
10)	Oeffnung der ersten Linse	0.7 "

11) Entfernung der Blendung von der ersten Linse	1.29	Zoll.
12) Oeffnung dieser Blendung	0.20	=
13) Oeffnung der dritten Linse	1.15	=
14) Oeffnung der vierten Linse	0.7	=
15) Oeffnung der zweiten Blendung . . .	0.75	=
16) Gesichtsfeld	30	Minut.
17) Entfernung des Oculardeckels von der vierten Linse	0.44	Zoll.
18) Durchmesser der Ocularöffnung . . .	0.26	=
19) Länge der ganzen Ocularröhre . . .	10	Zoll.

Die Oeffnung der zweiten Linse ist bei allen diesen Ocularen jener der ersten gleich zu nehmen, oder nur etwas geringer. Sie dürfte zwar bedeutend geringer (7mal kleiner als die Oeffnung der dritten Linse) genommen werden, allein es ist unbequem, zwei Linsen von so verschiedener Größe in eine Röhre zu fassen.

Die zweite Blendung steht am Orte des zweiten Bildes, also im Brennpunkte des letzten Oculars und ihre Oeffnung kann noch kleiner genommen werden, als hier angegeben, wodurch man zwar vom Gesichtsfelde etwas verliert, dagegen aber für die Deutlichkeit am Rande wieder gewinnt, was für die Betrachtung terrestrischer Gegenstände sehr wichtig ist. In den Fraunhofer'schen Ocularen ist daher auch die Oeffnung der Blendung vor der vierten Linse enger, als hier angegeben, und zwar in dem Verhältnisse, daß sich die wirkliche Oeffnung der dritten Linse zur Oeffnung der Blendung verhält, wie die Entfernung beider Linsen zu der Brennweite der vierten Linse.

§. 168. Das orthoskopische Ocular.

In der neueren Zeit hat Kellner, Optiker in Wetzlar, eine Verbesserung in der Construction der Linsen eingeführt. Er hat eine Schrift herausgegeben: „Das orthoskopische Ocular u. s. w. eine verbesserte

Construction der Objectivgläser, Braunschweig 1849", in der er jedoch nichts speciell über die Art und Weise des Schleifens seiner Gläser mittheilt, sondern nur allgemein über seine Auffindung und Verbesserung spricht. Er hat es verstanden, die Tugenden des applanatischen Oculars mit einem großen Sehfelde zu vereinigen. Sein Ocular ist nach dem Orte des Bildes und Fadenkreuzes das Ramsden'sche; das Collectivglas ist eine einfache Kronglaslinse, die zweite Linse dagegen ist doppelt, indem Kron- und Flintglas mit canadischem Balsam aufeinander gekittet sind, und diese Linse wirkt ganz ähnlich auf den Achromatismus des Oculars, wie die achromatisirende Doppellinse des dialytischen Fernrohrs. Die Vorzüge dieser neuen Oculareinrichtung sind nach Kellner darin zu suchen, daß das ganze Sehfeld gleichzeitig vollkommen deutlich und in richtiger Perspective erscheint, und daß der Achromatismus nicht nur für die Hauptstrahlen, sondern auch für alle Strahlen der Lichtkegel möglichst vollständig erscheint, so daß der blaue Rand fortgeschafft ist und daß der Ort des Auges weiter von der letzten Glasfläche entfernt liegt, so daß bei starken Vergrößerungen eine bequemere Beobachtung möglich ist. — Während die ältern achromatischen Oculare nur bis 4 Pariser Linien Brennweite herabgehen, hat es hier Kellner verstanden, der äquivalenten einfachen Linse eine Brennweite von 28,8''' bis zu 2,66''' zu geben. Gauß lobt, in einem Schreiben an den Künstler, sehr seine Oculare, namentlich ihres großen Gesichtsfeldes wegen, denn während die Vergrößerung eines Oculars von Kellner an das Fernrohr von Merz gebracht, ebenso wie dieses 96mal vergrößert, ist beim ersteren das Gesichtsfeld mehr als doppelt so groß, wie beim letzteren. Dieses hat Kellner dadurch erreicht, daß er das zweite und vierte der vier Oculargläser aus Kron- und Flintglas zusammensetzte. — Wir kommen später in dem Kapitel über die Mikroskope nochmals auf die Oculare Kellner's zurück und werden dort einige Messungen, die an den von ihm verfertigten Lin-

sen angestellt sind, besprechen. Nach Kellner's Tode ist Fr. Belthle an die Spitze des optischen Instituts in Wetzlar getreten, der ebenfalls im Schleifen von Ocularen zu astronomischen und mikroskopischen Zwecken Tüchtiges leistet, ja was äußere Ausstattung betrifft in mancher Beziehung die Anordnungen Kellner's überflügelt. —

Auch eine neue Construction der Objectivgläser ist von Kellner ausgeführt, indem er die Anordnung der Radien darin so trifft, daß die beiden Krümmungen der inneren Flächen für alle Glassorten stets gleich werden, worauf diese Flächen dann mit canadischem Balsam aufeinander gekittet werden, wodurch der Lichtverlust durch die Spiegelung an diesen Flächen vermieden wird. Es sind diese Fernröhre in äußerer Form ähnlich ausgestattet wie die von Biron in Paris, die bis zu Focalweiten von 24 Zoll und 60facher Vergrößerung vollständig genügen. Es sind bei diesen Objectiven die innern Radien gleich und die hintere Seite ist plan geschliffen.—

§. 169. Das Reversionsprisma und seine Anwendung als terrestrisches Ocular.

Wir erwähnen nun noch, ehe wir zur Bestimmung der Brennweiten von Linsen übergehen, eine neue von Dove mitgetheilte Construction des Oculars, indem er sich eines Reversionsprisma als terrestrisches Ocular und gleichzeitig zum Messen von Winkeln bedient. Wir hätten auch Rochons und Arago's Mikrometer hier erwähnen können, wollen es aber erst, nachdem von der doppelten Brechung ausführlicher gesprochen, thun.—

Dove stellt nun die Construction und die Anwendung des Reversionsprismas folgendermaßen dar:

Strahlen, welche parallel der Hypotenusenfläche eines gleichschenkeligen Prisma auf eine Cathetenfläche desselben auffallen, treten, nachdem sie zwei Brechungen und eine totale Reflexion erfahren haben, aus der andern Cathetenfläche parallel mit sich aus.

Alle Strahlen, welche so auffallen, daß sie zweimal gebrochen und einmal total reflectirt werden, machen nach ihrem Austritt aus der zweiten Cathetenfläche unter einander dieselben Winkel, als vor ihrem Einfall auf die erste, aber sie liegen in Beziehung auf die sich selbst parallel bleibende Linie auf der entgegengesetzten Seite. Daraus folgt:

Ein mit bloßem Auge gesehener Gegenstand erscheint durch ein solches Prisma betrachtet in unveränderter Gestalt und Größe, nur in der Brechungsebene wie ein Spiegelbild verändert; die Bedingung der Achromasie ist dabei in aller Strenge erfüllt, die bei dem Einfalle parallele Strahlen es auch bei ihrem Eintritte sind. Liegt die Hypotenusenfläche horizontal; und schneidet ihre Verlängerung den gesehenen Gegenstand in einer horizontalen Linie, so erhält man das Bild dadurch, daß man von allen Punkten des Gegenstandes auf diese horizontale Linie Lothe fällt und sie um gleichviel unter die horizontale verlängert; die Endpunkte der Lothe sind die Bilder der entsprechenden Anfangspunkte.

Eine von der horizontalen Linie in der Mitte geschnittene lothrechte Gerade deckt sich daher auch durch das Prisma gesehen in umgekehrter Lage. Bei einer um 45° geneigten Geraden steht hingegen das Bild lothrecht auf dem Gegenstand. Da nun, wenn die vorher lothrechte Linie sich bei stehenbleibendem Prisma in ihrer Ebene nur 45° vorneigt, dies eben so wirkt, als wenn die Linie stehen bliebe und das Prisma in entgegengesetzter Richtung um 45° gedreht würde, so bewegt sich das Relief mit doppelt so großer Geschwindigkeit als die Brechungsebene des Prisma.

Da nun die aus dem Prisma austretenden Strahlen in Beziehung auf ein zweites Prisma als von einem Gegenstand ausgehend betrachtet werden können, der an der Stelle des Bildes liegt, so folgt:

Liegen die Hypotenusenflächen zweier gleicher Prismen in einer Ebene, sind also ihre entsprechenden Kanten paarweise parallel, so wird der Gegenstand durch beide

unverändert erscheinen, da das zweite Prisma jene lothrechte Linie von neuem umkehrt, also die ursprüngliche Lage wieder herstellt. Wird hingegen bei stehenbleibendem ersten Prisma das zweite um 90° um seine Hypotenusenkante gedreht, liegt also die Brechungsebene des zweiten horizontal, die des ersten lothrecht, so erscheint der Gegenstand vollständig umgekehrt. Das erste Prisma kehrt ihn natürlich in Beziehung auf oben und unten um, das zweite in Beziehung auf rechts und links. Da nun eine Umkehrung einer Drehung des Gegenstandes von 180° entspricht, so folgt:

Durch zwei beliebig gegen einander aufgestellte Prismen, deren Hypotenusenkanten eine gerade Linie bilden erscheint der Gegenstand unverändert an Gestalt und Größe, aber um einen Winkel gedreht, welcher doppelt so groß als der ist, welchen ihre Brechungsebenen mit einander machen, denn es ist klar, daß die doppelte Umkehrung analoger Weise eintritt, wenn die beiden Linien, in welchen die Hypotenusenflächen der Prismen den Gegenstand schneiden, einen rechten oder einen spitzen Winkel mit einander machen; denn Jeder wird zugeben, daß, wenn eine Ebene zuerst um eine willkürlich in ihr liegende gerade Linie um 180° gedreht wird, dann um eine andere willkürliche gerade Linie und zwar ebenfalls um 180°, die Ansicht der Ebene in Beziehung auf Gestalt und Größe dieselbe bleibt, ihre Lage aber eine schiefe geworden ist. Durchschneidet nämlich die Hypotenusenfläche des ersten Prisma den Gegenstand in einer Linie ab, die des zweiten in einer Linie ac, so wird, wenn eine willkürliche Gerade ad mit ab den Projectionswinkel x macht, ihr Bild hingegen mit ac den Winkel y, der Winkel zwischen den beiden und ihrem Bilde $2x + 2y$ sein, der zwischen den beiden Durchschnittslinien ab und ac hingegen $x + y$. Dreht man hingegen beide Prismen, in welchem Stadium der gegenseitigen Drehung sie auch gegen einander stehen, gleichzeitig so um die Hypotenusenkante, daß ihre gegenseitige Lage dieselbe bleibt, also beide mit gleicher Ge-

schwindigkeit in gleichem Sinne, so bleibt das Bild unverändert stehen; denn da das Bild des ersten Prisma sich mit doppelt so großer Geschwindigkeit bewegt als das zweite Prisma, so eilt es diesem um den Drehungswinkel vor. Ein Voreilen ist aber einer Bewegung des Prisma im entgegengesetzten Sinne zu vergleichen, diese führt also das Bild um denselben Winkel zurück, um welchen das erste Prisma es vorführt.

Ein System zweier solcher Prismen nennt man ein Reversionsprisma, weil es einen Gegenstand in jedem beliebigen Stadium der Drehung zu beobachten erlaubt. Schraubt man das Reversionsprisma vor das Ocular eines astronomischen Fernrohrs, so verwandelt es in der bestimmten Stellung, in welcher die Brechungsebenen der Prismen senkrecht aufeinander stehen, das Fernrohr in ein terrestrisches; man nennt es dann ein terrestrisches Prismenocular. Die Prismen sind in eine cylindrische Hülse gefaßt, das zweite gegen das erste drehbar. Der Umfang des drehbaren Stückes ist wie der Kopf einer Mikrometerschraube in Grade getheilt, und auf der cylindrischen Hülse des festen durch zwei gegenüberstehende Striche angegeben, wo die Brechungsebene des festen Prismas liegt.

Der Nullpunkt der drehbaren Theilung entspricht der Brechungsebene des beweglichen Prismas. Machen die Brechungsebenen stumpfen Winkel, so ist das Fernrohr ein astronomisches, bei der Drehung des Fernrohrs um seine Axe bleibt das Bild umgekehrt stehen. Stehen die Brechungsebenen senkrecht aufeinander, so ist das Fernrohr ein terrestrisches. Bilden sie hingegen einen spitzen Winkel miteinander, so erscheint der gesehene Gegenstand um den doppelten Winkel geneigt und bleibt in dieser geneigten Stellung stehen, bei der Drehung des Fernrohrs um seine Axe.

Bei der Kürze des Prismenoculars ist ein so construirtes terrestrisches Fernrohr viel kürzer als ein gewöhnliches, also als Marine- und Militärfernrohr zu empfehlen. Es ist wie ein Blendglas vor jedes astro-

nomische Ocular aufzuschrauben; D. hat dasselbe von Herrn Oertling ausgeführte Prismenocular angewendet bei einem kleinen Theodolitfernrohr und bei einem Dollond von 4″ Oeffnung. Soll es nur als terrestrisches Ocular dienen, so ist es zweckmäßig, die Prismen so zu befestigen, daß sie ein für allemal einen rechten Winkel miteinander machen. Das Fadenkreuz befindet sich im Brennpunkte des astronomischen Oculars. Bei Aufnahmen, bei welchen Nummerpfähle abgelesen werden, hat es das Angenehme, die Zahlen nicht umzukehren.

Die Anwendung zur Messung der Neigungswinkel ist folgende: Man stellt in dem Fernrohre die Prismen auf 90° ein, d. h. so daß der Gegenstand in seiner natürlichen Lage erscheint, und dreht das Fernrohr um seine Axe bis der feste lothrechte Faden des Fadenkreuzes die Linie deckt, deren Neigung man messen will. Man dreht nun das vordere Prisma, bis der Faden und der dadurch verdeckte Gegenstand der Richtung eines vor dem Fernrohre frei aufgehängten Lothes entsprechen. Der Drehungswinkel ist die halbe Begrenzung des gesuchten Neigungswinkels.

Man kann das Reversionsprisma auch im Fernrohr oder vor dem Objectiv desselben anbringen, und seine Größe so wählen, daß man durch die nicht bedeckten Theile des Objectivs die Linie in unveränderter oder umgekehrter Lage sieht, wenn das Fernrohr ein astronomisches ist durch das gedrehte Prisma hingegen in willkürlich geneigter Lage. Man bringt die beiden Linien, deren Neigung man bestimmen will, zur Coincidenz, nämlich die eine durch den umgekehrten Theil des Objectivs gesehene mit der andern durch das Reversionsprisma gesehenen. Ist das Reversionsprisma im Innern des Fernrohrs, so hat das terrestrische Fernrohr die Länge des astronomischen. Man verkürzt das gewöhnliche also um die Länge des gewöhnlichen terrestrischen Ocularansatzes. Soll es dann drehbar sein, so besteht die Röhre des Fernrohrs aus zwei aufeinandergeschraub-

ten Theilen, in deren einem das unveränderliche Prisma, im andern das bewegliche ist. In einem Fraunhofer von 3″ Oeffnung erhielt D. ein sehr schönes Bild.

Da bei allen gleichschenkeligen Dreiecken die Bedingung einer totalen Reflexion für nahe an der Grundlinie parallel derselben auffallende Strahlen erfüllt wird, so gilt das bisher für ein rechtwinkeliges gleichschenkeliges Dreieck Gesagte für alle gleichschenkeligen. Aber natürlich nimmt die Anzahl der nach einmaliger Brechung noch die Grundfläche treffenden Strahlen immer mehr ab, je spitzer der Winkel an der Spitze des Dreiecks ist. Für jeden gegebenen Fall, in welchem man ein anderes Dreieck dem rechtwinkeligen vorzieht, wird man daher den Winkel zu bestimmen haben, bei welchem noch die auf die Eintrittsfläche einfallenden Strahlen sämmtlich total reflectirt werden. Durch eine Zuschärfung des rechten Winkels nimmt die Länge des Oculars ab und die Lichtstärke zu.

Der Lichtverlust überhaupt ist nicht erheblich, da hier vier Brechungsebenen wie bei dem gewöhnlichen terrestrischen Oculare sind. Um das Prisma zu adjustiren, bedient man sich der gewöhnlichen Methode des Stehenbleibens des Bildes bei Drehung des Fernrohrs um seine Axe. —

§. 170.

Ludwig Moser in Königsberg hat eine schätzenswerthe Methode: Die Brennweite und optischen Hauptpunkte von Linsen zu bestimmen veröffentlicht, die wir folgen lassen.

Die zu beschreibende Methode, die Brennweite und optischen Hauptpunkte zu finden, welche bis jetzt nicht angewandt worden, läßt jeden für die Praxis wünschenswerthen Grad von Genauigkeit zu und ist in der Ausführung einfach genug. Sie erstreckt sich auf Linsen von großer wie kleiner Brennweite, und wird mit gro-

ßer Leichtigkeit bei einfachen Linsen, wie bei einer beliebigen Zusammenstellung solcher, wenn sie nur ein Bild geben, angewandt.

Man hat für die einfache Linse, wie für ein System derselben, die sich auf einer Axe befinden.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p},$$

wo a die Entfernung des Objects, α die des Bildes, p die Brennweite bedeutet.

a wird von einem gewissen Punkte in der Axe gezählt, welche der erste optische Hauptpunkt heißen mag; α und p von einem andern Punkt, dem zweiten optischen Hauptpunkt. Die Lage dieser beiden Punkte hängt von allen Elementen der Linse oder des Linsensystems ab, und ist daher im Allgemeinen, praktisch genommen, unbekannt. Eine der wesentlichen Eigenschaften derselben besteht darin, daß Strahleu, welche vor jeder Brechung auf den einen Hauptpunkt unter einem beliebigen (aber unendlich kleinen) Winkel gerichtet sind, nach allen Brechungen auf den andern Hauptpunkt unter demselben Winkel gerichtet sind.

Mein Verfahren die Brennweite zu bestimmen, sagt Moser, ist hierauf gegründet:

Man läßt ein Object in der Entfernung a sich abbilden, und mißt die lineare Größe des Bildes g. Bestimmt man noch den Winkel φ, welchen das Object einschließt, so hat man unmittelbar:

$$\alpha = \frac{g}{2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \varphi}$$

vorausgesetzt, daß das Bild sich gleichweit zu beiden Seiten der Axe erstrecke.

Aus den Werthen α und a findet man das p.

Wie man sieht, kommt es hierbei auf die Kenntniß des zweiten optischen Hauptpunktes gar nicht an; die Lage des ersteren müßte dagegen bekannt sein, weil von ihm aus a gemessen wird. Inzwischen ist dieser Uebelstand in der Praxis unerheblich, wenn a nur irgend be-

trächtlich gewählt wird. Wenn nämlich a sich um die kleine Größe d a ändert, so beträgt d p oder die Aenderung im Werthe der Brennweite

$$\frac{p^2}{a^2} \, d\, a.$$

Ist demnach in einem speciellen Falle die Brennweite = 1 Fuß, und wäre das Object, durch welches sie gefunden werden soll, 250 Fuß entfernt, so würde $d\,p = \frac{1}{62500}\, d\,a$ sein; und somit würde ein Fehler von 10 Fuß in dem Werthe von a die Brennweite nur um beiläufig $\frac{1}{43}$ Linie falsch finden lassen. Man sieht hieraus, daß im Allgemeinen a nur innerhalb ziemlich weiter Grenzen genau zu sein braucht, und daß dabei die Kenntniß der Lage des ersten Hauptpunktes von keinem erheblichen Einflusse ist.

Wenn man folglich a nur angenähert zu kennen braucht, so ist es dagegen wichtiger dafür Sorge zu tragen, daß der Winkel φ von dem ersten Hauptpunkt aus bestimmt werde.

Mißt man ihn von einem Punkte aus, der in der Richtung des Objects um d a von diesem Hauptpunkt entfernt ist, so entsteht dadurch ein Fehler in dem Werthe der Brennweite von

$$\frac{p^2}{a\,\alpha} \, d\, a.$$

Doch kann man auch diesen Fehler für die Praxis unerheblich machen, wenn man das Winkelinstrument z. B. hinter der zu messenden Linse aufstellt, so daß sein Mittelpunkt von der Linse um a_1 abstehe, und die Tangente des halben Winkels dann mit $1 + \frac{a_1}{a}$ multiplicirt. Der Abstand a_1 läßt sich in den gewöhnlichen Fällen der Praxis nicht bis auf einige Linien genau finden, selbst ohne die Lage des Hauptpunktes zu kennen, während ein Fehler von 12 Linien in dem angenommenen Falle die Brennweite nur um etwa $\frac{1}{20}$ Linie falsch ergeben würde. Ueberdies kann man die Lage der Hauptpunkte,

wie wir nachher zeigen werde, sehr genau finden, und dadurch diese Quelle von Fehlern vermeiden.

Das Object bei den Messungen waren Anfangs Häuser, deren Entfernung sich = 272,46 Par. Fuß ergab; die Winkel wurden mit einem kleinen Kater'schen Kreise gemessen, dessen drei Verniers unmittelbar 30″ angaben und genauer abgelesen wurden. Bei Linsen wo φ einige Grade betragen kann, war diese directe Messung des Winkels ganz brauchbar, insofern sie den Mitteln entsprach, durch welche die lineare Größe g gemessen wurde. Bei Linsen großer Brennweite jedoch, wo φ wegen der nöthigen Rücksicht auf die Deutlichkeit des Bildes kleiner gewählt werden muß, ist die directe Messung von φ nicht vortheilhaft, und hier empfiehlt sich eine andere Vorkehrung, die nicht allein in diesem Falle den Winkel ungleich genauer finden läßt, sondern auch den übrigen practischen Zwecken überhaupt viel angemessener ist. Von der Decke des Zimmers ließ M. zwei Bleilothe an Fäden herab, so daß sie erhöht und erniedrigt werden konnten; die genaue Entfernung beider betrug 7737,98 Millim. Als Object wurde ein ebenes mit weißem Papier überzogenes Brett von beiläufig 4 Fuß Länge angewandt, auf welchen gewisse Intervalle, 60 Mill., 70 Millim. u. s. w. genau abgetheilt und schwarz angelegt waren. Hierdurch entstanden scharf begrenzte Objecte von sehr verschiedener Größe. Dies Brett wurde an die Stelle des einen Fadens gelegt, die zu messende Linse an die Stelle des andern, wo dann für jedes gegebene Object $\operatorname{tg} \frac{1}{2} \varphi$ gleich der halben Länge desselben, dividirt durch die Entfernung der Lothe, demnach bekannt ist.

Um die Größe der Bilder zu messen, konnte M. nur Glasmikrometer in $\frac{1}{8}$ Linie beiläufig getheilt (der Werth der Theilstriche war 0,123377‴ Par.) anwenden. Das Bild fiel entweder direct auf diese Theilung, oder er brachte ein solches Mikrometer an die Stelle des Fadenkreuzes in einem zusammengesetzten Mikroskope. Je nach den Objectiven des Mikroskops, und je nach dem

Abstand der Glastheilung von den Objectiven konnte der Werth der Theilstriche sehr verringert werden, z. B. bei der Anwendung der beiden Objective Nr. 1 und 2 kamen 38,666 derselben auf die Linie. Da außerdem ein achromatisches Ocular angewandt und die Zehntel sehr gut geschätzt werden konnten, so ist der Fehler in der Bestimmung von g unter diesen Umständen kaum mehr als $\frac{1}{400}$ Linie und gewährt für die meisten practischen Zwecke eine genügende Sicherheit. Man hat jedoch feinere Mittel, eine lineare Größe zu messen, die nicht einmal eine so starke Vergrößerung durch Mikroskope verlangen. Mit Hülfe derselben und bei dem angegebenen Verfahren, φ ebenfalls durch lineare Größen zu bestimmen, ist der obige Werth von α, obgleich der Quotient zweier kleinen Größen, nichts destoweniger zur Bestimmung von p vollkommen brauchbar. Ueber die Art, die Glasmikrometer anzuwenden, möchten wir noch anführen, daß es die Genauigkeit erhöht, wenn man die Beobachtung so einrichtet, daß g eine ganze Zahl von Theilstrichen umfaßt; fällt das Bild unmittelbar auf die Glastheilung, so ist es gut, dasselbe mit einem Mikroskop und Ocularmikrometer zu betrachten, wodurch man leicht die Zehntel schärfer schätzen kann. Im letzteren Falle ist große Sorgfalt darauf zu wenden, daß das Bild sich genau auf der Eintheilung befinde, und dieses erreicht man, wenn man beide mit einem stark vergrößernden zusammengesetzten Mikroskop betrachtet. Hat man ein solches nicht, so kann man ein gewöhnliches Ablesemikroskop dazu benutzen, wie M. Repertorium der Physik, Bd. V, S. 396 angegeben, indem man dessen kurzes Rohr durch ein langes ersetzt. Es wird dann auch das Einstellen überaus empfindlich und läßt sich wegen dieser Eigenschaft zu mannichfachen Zwecken anwenden. Diese Art empfindliche dioptrische Instrumente (auch das Fernrohr läßt sich dazu einrichten) verdient, wie M. glaubt, Aufmerksamkeit.

Was die Größe des Bildes betrifft, die man zur Messung verwendet, so folgt aus M's. Erfahrungen

an Linsen von 1,10 bis 2, 3 Linien Brennweite, daß man im Allgemeinen bei sonst guten Linsen ein Bild von der Ausdehnung $\frac{1}{10}$ p gebrauchen könne. Beschränkt wird man hierin nicht so sehr durch die beiden gewöhnlich betrachteten Abweichungen der Linse, die achromatische und die Abweichung wegen der Kugelgestalt, insofern man sie durch die Blendungen unerheblich machen kann, als vielmehr durch eine dritte Art der Abweichung, welche M. in demselben Bande des Repertoriums beschrieben und Abweichung von der Ebene zu nennen vorgeschlagen hatte.

Diese Abweichung wird durch Blenden nicht aufgehoben. Da für einen Fehler von d g bei der Messung der Größe g sich α um $\frac{a}{s}$ d g ändert, wo s die Größe des Objects bedeutet, so ergiebt sich der Vortheil, ein möglichst großes Object zu wählen, so weit die Deutlichkeit des Bildes es verstattet.

Die Methode α zu bestimmen setzt ein Bild, das sich zu beiden Seiten der Axe gleichweit erstreckt, voraus. Befindet sich die Linse in einem ausziehbaren Rohr, so erfüllt man diese Bedingung leicht, wenn man der Linse, durch Auffangen ihres Bildes auf einer matten Glastafel die Richtung giebt. Bei Messungen im Zimmer reicht hierzu ein in der Richtung beider Bleilothe ausgespannter horizontaler Faden aus, wenn die Brennweite der Linse nicht zu gering ist.

Folgende Messungen mögen zur Erläuterung des Vorhergehenden dienen.

Eine achromatische Linse entwarf das Bild eines Objects von 190 Millim. in der Stube auf 22,8 Theilstriche des Glasmikrometers. Hieraus ergiebt sich p = 110,86‴. Das Bild eines Hauses derselben Linse nahm 65,35 Theilstriche ein; der Winkel des Hauses betrug 4° 5′ 55″ und wurde 3 Fuß 2 Zoll hinter der Linse gemessen. Hieraus p = 110,81. Zwei andere Messungen ergeben 110,83 und 110,90.

Eine andere achromatische Linse bildete das Object 720 Millim. in der Stube auf 47,6 Theilstriche ab. Hieraus ergiebt sich p = 61,98‴. Eine anderweitige Messung ergab 62,10‴. Hierauf wurde ein Ocularmikrometer angewandt, so daß $38\frac{2}{3}$ Theilstriche eine Pariser Linie einnahmen. Ein Object von 70 Millim. nahm 22,1 Theilstriche ein, und ergab also p = 62,03. Endlich ließ M. durch diese Linse ein Haus abbilden. Der Winkel des Hauses betrug 4° 15′ 30″; die Größe des Bildes auf dem Glasmikrometer 37,95 Theilstriche. Das Winkelinstrument stand 2,83 Fuß hinter der Linse. Hieraus p = 62,19.

Bei einem achromatischen Objectiv, Nr. 4 aus einem zusammengesetzten Mikroskop, nahm das Bild eines Hauses auf dem Ocularmikrometer 29 Theilstriche an (= 0,7500‴ Par.). Der Winkel desselben betrug 4° 18′ 50″; die Entfernung des Winkelinstruments hinter der Linse 1,83 Fuß. Hieraus ergiebt sich p = 9,88‴. Ferner betrug die Größe des Bildes 35,4 Theilstriche desselben Ocularmikrometers, als ein Object von 720 Millim. in der Stube genommen wurde. Hieraus p = 9,81.

M. schraubte drei mikroskopische Objective, Nr. 1, 2 und 3 zusammen und ließ Objecte von 190,325,720 und 1020 Millim. sich auf einem Ocularmikrometer abbilden, von welchen 40 Theilstriche genau auf die Pariser Linie gingen. Die Größe der Bilder betrug 5,81, 10,10, 22,1 und 31,1 Theilstriche (der erste Werth ist das Mittel aus fünf Beobachtungen, der zweite aus vier, der dritte und vierte Werth sind einzelne Beobachtungen). Hieraus findet man p = 5,903, 6,001, 5,928 und 5,888. Dem ersten Werthe von p liegt eine Messung des Bildes von nur $\frac{1}{7}$ Linie zu Grunde; dem letzten Werthe eine von $\frac{3}{4}$ Linie, und dieses Bild war wohl etwas zu groß gewählt.

Die Objective Nr. 4, 5 und 6 gaben bei drei einzelnen Beobachtungen in der Stube an verschiedenen Tagen p=2,292, 2,296, 2,313‴ und bei einer Messung

mittelst Häuser 2,317. Dabei schien es, als wenn dies zusammengesetzte Objectiv zwei verschiedene Brennweiten besäße, je nachdem es gehalten wurde. Doch waren die Messungen nicht im Stande, diesen Unterschied bei kleinen Bildern mit Sicherheit anzugeben. M. richtete daher dieses Objectiv auf Häuser, deren Winkel 21°, 3', 40'' betrug, deren Bild einen Raum von beiläufig 0,8''' einnahm und zu groß war, um daraus p zu bestimmen. Während nämlich das Bild an beiden Rändern scharf erschien, hatte es in der Mitte nicht den vollen Grad der Deutlichkeit. Aber der fragliche Unterschied trat nun unzweifelhaft hervor. War nämlich die Linse Nr. 6 gegen das Object gerichtet, so nahm das Bild 33 Theilstriche des Ocularmikrometers ein, und nur 32,2, wenn Nr. 4 nach dem Object hinwies.

Hierüber war kein Irrthum möglich. Diese Thatsache zweier verschiedener Brennweiten konnte nur darin ihren Grund haben, daß mindestens bei der einen Stellung des Objectivs das Bild sich nicht außerhalb des Linsensystems, sondern wahrscheinlich im Innern der letzten Linse befand, und dies zeigte sich durch einen Versuch von der Art, wie wir gleich beschreiben werden, bestätigt.

War nämlich Nr. 6 gegen das Object gekehrt, so befand sich das Bild im Innern der Linse Nr. 4, und zwar scheinbar 0,25''' vor der letzten Glasfläche.

Wir werden jetzt das Verfahren mittheilen, die optischen Hauptpunkte zu finden. Man lasse von der Linse oder von der Linsencombination ein Bild entwerfen, messe die Größe desselben, und berechne daraus nach Obigem den Werth α. Man nehme hierauf ein sehr empfindliches Mikroskop, das auf einer Skale beweglich ist, richte dasselbe auf das Bild und verschiebe es in der Richtung der Axe der Linse, bis die erste Linsenfläche deutlich erscheint, was ohne sonstige Vorrichtung durch den daran haftenden Staub leicht genug zu erreichen ist. Beträgt diese Verschiebung v, so liegt der zweite optische Hauptpunkt, oder derjenige, von welchem bei dieser

Stellung der Linse α und p gezählt werden, α — v von der betreffenden Linsenfläche entfernt. Und zwar liegt dieser Hauptpunkt nach dem Innern der Linse oder des Linsensystems zu, wenn diese Differenz positiv ist, und in entgegengesetzter Richtung, wenn sie negativ ist. Kehrt man jetzt die Linse um, so daß diejenige Fläche, die früher dem Object zunächst lag, nunmehr nach dem Bilde weist, und mißt man auch hier die Verschiebung, so erhält man auf dieselbe Weise die Lage des ersten Hauptpunktes, von dem bei der vorigen Stellung der Linse α gemessen werden muß. Es kommt also darauf an, ein Mikroskop so zu stellen und zu verschieben, daß seine Axe mit der der Linse oder des Linsensystems zusammenfalle.

Von den verschiedenen Mitteln, deren man sich hierzu bedienen kann, werden wir nur dasjenige anführen, welches bei den Versuchen am schnellsten und leicht zum Ziele führte. Auf die äußerste Linsenfläche befestige man zwei Coconfäden, die sich rechtwinkelig und möglichst genau in der Axe der Linse kreuzen. Hierauf wird die Linse auf das Object gerichtet, und nun sieht man von vorn her durch die Linse und verschiebt das Mikroskop so lange, bis man durch dasselbe hindurchsehen kann und das Fadenkreuz das Gesichtsfeld halbirt. Es bedarf dann nur noch kleiner Correctionen durch Schrauben, um die Mitte des Bildes bei der einen Stellung des Mikroskops und beim Verschieben desselben das Fadenkreuz auf der Linse zu sehen. Will man eine noch größere Genauigkeit, so bringe man dem eigentlichen Objecte gegenüber ein anderes Object auf der entgegengesetzten Seite der Linse, in gleicher Höhe und in der Richtung der beiden Lothe an. Man sieht jetzt durch die Linse und durch das Mikroskop (durch letzteres also in umgekehrter Richtung), und verschiebt dasselbe, bis das neue Object in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint, was leicht zu bewirken ist.

Um von solchen Versuchen ein Beispiel auszuführen, wähle man eine Combination zweier achromatischer Ob-

jective von beiläufig 18''' Apertur. Durch eine Messung in der Stube fand sich $\alpha = 63{,}25'''$. Ein Mikroskop wurde auf das Bild scharf eingestellt und mußte um 45,38''' verschoben werden, damit die zunächst liegende Glasfläche deutlich war (durch drei Beobachtungen mit stets neuer Einstellung der Instrumente ergab sich 45,30''' 45,47''' und 45,37). Hieraus findet sich die Lage des zweiten optischen Hauptpunktes 17,87''' von der betreffenden Glasfläche nach Innen zu. Auf ähnliche Weise fand sich der erste Hauptpunkt 12,65''' von der entgegengesetzten äußersten Glasfläche entfernt, ebenfalls nach Innen. Für die Praxis würde es oft noch gerathener sein, die Hauptpunkte in Bezug auf Punkte zu bestimmen, welche in der Axe der Linse sich befinden und fest mit ihr verbunden sind.

Wenn man sich von der Zweckmäßigkeit der getroffenen Vorkehrungen bei Versuchen dieser Art überzeugen will, so giebt die einfache planconvexe Linse das Mittel ab. Bei dieser Linse ist der eine Hauptpunkt bekannt; er liegt da, wo die sphärische Fläche von der Axe geschnitten wird. Ist also ihre convexe Seite dem Bilde zugewandt, so muß $v = \alpha$ sein. M. nahm eine planconvexe Linse aus einer Doppellupe, und fand $\alpha =$ 13,38''' und $=$ 13,34. Die Verschiebung des Mikroskops betrug 12,23''', 13,25''' und 13,24'''. Solche Linsen müssen übrigens, da sie nicht achromatisirt sind, gehörig abgeblendet werden.

Da unsere Absicht in diesem Aufsatze vornehmlich gewesen ist, die Brennweite bei einem System von Linsen finden zu lehren, d. h. in Fällen, wo die bisher üblichen und angewandten Methoden kaum eine Annäherung gewähren, so war man wegen der Unkenntniß der Lage des Hauptpunktes genöthigt a verhältnißmäßig groß zu wählen. Dies ist aus anderweitigen Gründen nicht vortheilhaft. Hat man nämlich bei Bestimmung der Größe α den Fehler $d\,\alpha$ begangen, so entsteht hieraus für p der Fehler $\frac{p^2}{\alpha^2}\,d\,\alpha$. Dieser letztere ist nahe

$d\alpha$, wenn das Object weit entfernt ist; er wird um so kleiner, je näher das Object der Linse steht. Befindet es sich z. B. in der doppelten Entfernung der Brennweite, so wäre auch $\alpha = 2p$, und daher dp nur der vierte Theil von $d\alpha$. Da sich nunmehr die Lage des ersten Hauptpunktes bis auf $\frac{1}{10}$ Linie finden läßt, so kann man diese Kenntniß benutzen, die Objecte näher bringen, a immer noch mit der nöthigen Genauigkeit bestimmen. Messungen der Brennweite, wie sie vorher, mittelst Objecte in größerer Entfernung, angegeben worden, würden dann nur den ersten Grad der Annäherung bilden, und man würde hierauf das Object so viel nähern können, als es angeht, d. h. so viel, als die Rücksicht auf die nöthige Lichtstärke und besonders auf die drei Arten von Abweichung der Linse, welche im Verhältniß von α^2 wachsen, es erlauben.

§. 171. Practischere Methode von Merz, die Brennweiten der Linsen zu bestimmen.

Es läßt sich die Scharfsinnigkeit der Methode Moser's nicht leugnen, und schwerlich wird man mit größerer Genauigkeit bestimmen können, doch halten einige Practiker sie für noch zu schwierig; so meint Merz, daß die Moser'sche Methode für den practischen Optiker immerhin zu umständlich sein möchte, während dagegen die andern bisher bekannten Methoden nicht hinlänglich genau sind. Es irrt sich das Auge gern in der genauen Bestimmung des deutlichsten Bildes, das man in der Entfernung der Brennweite durch eine Sammellinse von sehr entfernten Gegenständen auf einer Wand entwerfen läßt, besonders wenn Seitenlicht darauf fällt, und man wird dabei bisweilen eine Differenz mit dem aus den Radien und dem Brechungsindex geschöpften Berechnungsresultat finden. Gleiches ist der Fall, wenn man die Brennweite eines Hohlglases, das mit einem

noch stärkeren Sammelglas verbunden und der eben genannten Methode unterworfen wird, aus der Formel

$$-p = \frac{P\,\pi}{P - \pi}$$

eruirt, wobei wohl der unangenehme Umstand eintritt, daß für die in progressiven Reihen gleicher Exponenten erscheinenden verschiedenen Brennweiten, die mit jener Combination resultirenden Vereinigungsweiten, die man etwa auf einem Maßstab auftragen möchte, nicht eben so gleichmäßig zu- oder abnehmen, als es bei Sammellinsen der Fall ist. Noch weniger genau ist es, wenn man die Brennweite eines Zerstreuungsglases der Entfernung gleichsetzt, in welcher der Schatten des Glases beim Sonnenschein doppelt so breit ist, als dieses. Fischer in Moskau bestimmt die Brennweite von Convexlinsen aus der Entfernung des Bildes, in der dieses ein vielfaches vom Gegenstand ist. Im conservatoire des arts et des métiers in Paris sah man einen Brennweitenmesser vom Präparateur Herrn Silbermann, dem Erfinder des hübschen Heliostaten; er ist lediglich auf die gegenseitige Aenderung der vorderen und hinteren Vereinigungsweise gegründet, und mit einer guten Vorrichtung zur zweckmäßigsten Einstellung des Glases versehen, dient aber nur für Convexlinsen direct. — Wir wollen nun einen von dem Bruder Siegmund Merz erdachten und ausgeführten Apparat zum Vortheil derer, die ihn brauchen können, mittheilen, welcher Apparat die Brennweite von Hohl- und Sammelgläsern, im directen Maße, mit hinreichender Genauigkeit und Bequemlichkeit, und auch bei geringem Lichte bestimmen läßt. — Man weiß bereits, daß, wenn man ein Fernrohr auf einen recht weit entfernten Gegenstand einstellt und wenn man dann eine Convexlinse vor's Fernrohr hält, so daß die beiderseitigen Axen zusammenfallen, man damit in einem, um die Brennweite der vorgehaltenen Linse, von dieser entfernten Buche lesen kann, da das Fernrohr auch in diesem Falle Parallelstrahlen erhält. Hätte man zuerst auf

einen nahen Gegenstand eingestellt, so müßte man, ohne den Stand des Oculars gegen das Objectiv zu ändern, die Brennweite des letztern für die Ferne verhältnißmäßig verlängern können; dies geschieht aber auch, indem man ein Hohlglas vorhält, dessen Brennweite eben der Entfernung des nahen Gegenstandes gleich ist, da wir ja ein zum vorigen Fall entgegengesetztes Verhältniß haben und in der Brennweitenformel der Convergläser für Hohlgläser bekanntlich nur die Zeichen zu ändern brauchen. Wie nun, wenn man zuerst mit einem vorgehaltenen Hohlglas das Fernrohr auf Parallelstrahlen einstellt, kann man dann nicht nach Hinwegnahme des Hohlglases einen, um dessen imaginäre Brennweite entfernten Gegenstand auch deutlich sehen? Ohne Zweifel; und dies ist das Princip der neuen Vorrichtung, welches sich die Leser durch Zeichnung des Weges der Strahlen leicht noch mehr verdeutlichen können. — Der Apparat selbst besteht zunächst aus einem horizontalen Brett in Form eines Dreiecks von 4 bis 5 Fuß Höhe und 1 Fuß Basis. Neben dem längern Schenkel dieses Dreiecks läuft zwischen zwei Leisten an einer über 2 Rollen gehenden Schnur auf einer kleinen Säule von Holz eine Marke aus einem in Glas fein geätzten Gitter bestehend, um den nahen Gegenstand vorzustellen. Am untern Ende des andern Schenkels befindet sich auf einer andern gleich hohen Säule ein Unendlichkeitszeichen, nämlich ein Kreuzfaden vor einer achromatischen Doppellinse von kurzer Brennweite in einem messingenen Röhrchen genau in der Entfernung dieser Brennweite befestigt. Im Scheitel steht auf einer dritten Säule ein kleines, mit mehreren Auszügen zur Verstellung innerhalb beträchtlicher Unterschiede versehenes Fernrohr. Vor dieses nun bringt man das nach obigem Princip zu messende Glas, und die Mire kann man durch Drehung der nächsten Rolle ihm ferner und näher rücken, ihre Entfernung beim deutlichsten Sehen aber, und damit also auch die Brennweite des zu messenden Glases sogleich von dem auf der einen Leiste angebrachten Maßstabe ablesen, welcher für

gewöhnliche Fälle nicht über 4 Fuß ausgedehnt zu werden braucht, von 1 — 10 Zoll etwa unmittelbar in Linien von 10 bis 30″ im $\frac{1}{4}$″ und darüber hinaus in halbe Zolle getheilt ist, wobei man kleinere Theile noch mit einem Zirkel oder einem Vernier abnehmen könnte. Man muß übrigens darauf sehen, daß Fernrohr, Mire und das Zeichen der unendlichen Entfernung in gleichen Höhen bleiben, was man durch Zeichen auf den Gelenken nach dem einmal hergestellten richtigen Stande vermerkt, und dann jedesmal sogleich wieder zurückbringen kann. Das bei dem beschriebenen Apparate benutzte Fernrohr hat drei Objective, zwei von 3″ und eins von 2″ Brennweite, wovon ein 3zölliges und das 2zöllige jedes allein für sich, und auch in Combination mit dem zweiten 3zölligen benutzt werden können, welche Veränderungen, wie leicht einzusehen, nothwendig sind, um bei den Messungen mit Hohlgläsern von kurzer Brennweite nicht einen übermäßig langen Tubus oder gar als Objectiv ein Planglas zu erhalten, daher vielmehr im Nothfall auch Mikroskopobjective benutzt werden, und eine Aenderung des Oculars, da sie das Fernrohr nicht verkürzen würde, von keinem Werthe ist. Die beiden 3zölligen Objective geben mit den 2 zugehörigen Ocularen des Apparates 26= und 80malige Vergrößerung; das schärfere der beiden Oculare wird bei längeren Brennweiten nöthig. Je mehr das Fernrohr vergrößert, desto empfindlicher ist der Apparat, natürlich für kleinere Brennweite, wo man es auch nöthiger hat, mehr als für größere; daher die Genauigkeit oder Sicherheit des mit diesem Apparat zu erhaltenden Resultates ganz willkürlich ist, indem sie eben nur von der Vergrößerung des Fernrohrs abhängt. Drei Messungen je eines Kurz= und eines Weitsichtigen ergaben folgende Zahlen:

unter 10″.		zwischen 20 u. 30″.		über 30″.	
9,73	9,71	25,26	25,25	39,85	39,90
9,72	9,72	25,26	25,26	39,89	39,82
9,73	9,71	25,25	25,25	39,94	39,78

also für den vorliegenden Apparat ein befriedigendes Zeugniß, da die Messungen schlimmsten Falles um $\frac{1}{250}$ ihres Werthes differiren.

Um wegen des Unendlichkeitszeichens oder der Marke zur Einstellung auf parallele Strahlen recht sicher zu sein, hat man das Fernrohr zuerst auf ein Gestirn eingestellt und darnach das Fadenkreuz so vor sein Glas gerückt, daß es am deutlichsten erschien; um eine gleiche Sicherheit für die ganze Ausführung zu haben, und die allenfalls nöthigen Correctionen anzubringen, wurde die Brennweite einer Linse von genau bekannter Glasart, nachdem deren Radien mittelst Fühlhebel gemessen worden, mit Einführung der Dicke berechnet und zu Grunde gelegt. Der Radius der Vorderfläche war f = 21,501, jener der Hinterfläche g = 8,550″, n = 1,530272, d = 0,25″, also die Brennweite

$$p = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) + \frac{(n-1)^2 d}{n f^2} = 11{,}49'';$$

wirkliche Messungen ergaben:

11,49; 11,47; 11,49; 11,49; 11,50; 11,48,

also im Mittel:

11,486.

Es bedürfte demnach, wie man sieht, nur einer ganz unbedeutenden Correction. Bei Gelegenheit möchten wir hier noch auf eine von Hrn. Prof. Moser in seiner trefflichen Abhandlung über das Auge im 5ten Bande des Dove'schen Repertoriums geäußerten Gedanken kurze Rücksicht nehmen. Er hebt hervor, daß, außer der Kugel und Farbenabweichung, noch eine dritte, die perspectivische, bestehe. Man hat wirklich auf dieselbe bisher zu wenig Rücksicht genommen, höchstens den Hintergrund einer Camera obscura um ihretwillen etwas gewölbt, wie wir einen solchen von Fraunhofer, noch in seiner Jugend sehr gut construirten, vorgefunden haben; erst neuestens beschäftigt sich Petzval angelegentlich mit den Formeln zur Herstellung von Objectiven, die von ihr möglichst befreit sein sollen. Für Strahlen von sehr

entfernten Gegenständen hat sie weniger Einfluß auf die Deutlichkeit des Bildes, und jedenfalls wird sie auch durch eine Function von Kugelabweichung gegeben werden können, wenn diese auch gleich sehr verwickelt ausfällt. Hr. Prof. Moser äußert, daß sie bei Cylindergläsern wohl vermieden würde, dagegen man aber ein in die Länge gezogenes Bild erhalte. Es sind aber die sogenannten und dieser Bedeutung noch am meisten entsprechenden Conversationsbrillen, welche aus cylindrischen Vorder- und Hinterflächen mit gekreuzten Axen bestehen, wirklich im Stande, ein richtiges Bild zu geben, da die rechtwinklige entgegengesetzte Lage der Hinterfläche entstandene Verzerrung oder dioptrische Anamorphose neutralisirt. Solche Gläser wären zuweilen auch als Ocular im Galiläi'schen Fernrohr zu gebrauchen, und wenn erhaben geschliffen, selbst für die Camera zum Daguerreotypiren; aber ist es ohnehin schon schwer, eine cylindrische Fläche gut zu schleifen, so wächst die Schwierigkeit, weil man die Krümmungsebene der beiden Flächen in genau sich rechtwinklig schneidende Lagen bringen soll, und es geht damit selbst noch härter, als wenn man Quarzlinsen so in der Lage zum Hauptschnitt zu schleifen hat, daß gar alle Doppelberechnung und die Unendlichkeit vermieden werden soll.

§. 172. Einige practische Vorschriften bei der Bearbeitung von Fernröhren. Methode, ein Objectivglas richtig in die Fassung zu bringen. Prüfung der Abweichung.

Können wir nun auch nicht speciell auf die Bearbeitung der mechanischen Metalltheile eingehen und die dabei vorzunehmenden Manipulationen beschreiben, so müssen wir doch Einiges für den Practiker Wichtige in Bezug auf Linsenfassung hervorheben. —

Es kommt zunächst darauf an, ein Ocular oder ein Objectivglas richtig in seine Fassung zu bringen. —

Nachdem die beiden Linsen des Objectivs richtig centrirt sind, was wir später lehren werden, wenn wir vom Schleifen der Linsen reden, werden sie in ihre Fassung eingesetzt, und um sie zu befestigen, nietet man bei kleineren Linsen den Fassungsring um, bei größern aber schiebt man in denselben einen Ring ein, auf eine Weise, die gleich beschrieben werden soll.

Bei der Zusammenfügung der beiden Objectivlinsen ist nun ein vorzüglich wichtiger Umstand der, daß die Axen beider in eine gerade Linie fallen, denn wenn dieses nicht der Fall wäre, so würde Undeutlichkeit der Bilder entstehen, indem ja bei der Berechnung der Krümmungshalbmesser des Doppelobjectivs das Zusammenfallen beider Axen eine Hauptbedingung ist, auch ohne diesen Umstand kein deutliches Bild entstehen kann. Wenn aber die Linsen vorher schon richtig centrirt sind, so hat das Einsetzen derselben in die Fassung, welche aus einem hinlänglich starken, rund ausgedrehten Ringe besteht, in welchem die Linsen auf einem senkrecht gegen die Wand des Ringes stehenden Rande ruhen, keine Schwierigkeit; denn da beide Linsen gleich groß und vollkommen rund abgedreht sind, und der innere Durchmesser der Linsen, so können diese auch nicht anders in die Fassung zu liegen kommen, als daß ihre Axen genau in eine gerade Linie fallen. Indessen verdient ganz besonders der Umstand einer nähern Erörterung, daß bei den gewöhnlichen Flint- und Kronglassorten nach der Herschel'schen Rechnung der hintere Halbmesser der Kronglaslinse, und daß folglich die Mitten beider Linsen sich berühren und gegen einander zu liegen kommen. Dadurch würde nun in Folge der zwischen beiden Linsen bleibenden Luftschicht nach optischen Erfahrungen in der Mitte ein farbiger Ring entstehen, welcher der Deutlichkeit schaden würde, und man muß daher dafür Sorge tragen, daß beide Linsen gehörig entfernt gehalten werden, welches nach Fraunhofer's eigener Anleitung auf folgende Weise durch Einschiebung dünner Stanniolblättchen geschieht.

Man legt die beiden Linsen des Objectivs in der früher bestimmten Lage auf einander, bezeichnet dann am Rande desselben drei Punkte, welche ziemlich genau 120° oder den dritten Theil der Peripherie von einander entfernt sind, und bringt an diesen Punkten drei gleich dicke Stanniolblättchen zwischen die beiden Linsen. Diese Blättchen haben, je nach der Größe des Objectivs, eine Breite von 1 bis 3 Linien, eine Länge von etwa 6 Linien und sind rechtwinklig geschnitten: es wird jedoch nur der vordere Theil derselben, etwa so weit, als die Breite der Auflage der Objectivfassung beträgt, zwischen die Linsen gleich tief geschoben, und zwar nachdem man diesen Theil auf beiden Seiten etwas weniges mit in Wasser aufgelöstem arabischem Gummi benetzt hat. Man drückt dann an der Stelle, wo das Blättchen eingelegt ist, ziemlich stark auf das Objectiv und schneidet den an dem Rande hervorstehenden Theil mit einem scharfen Messer genau weg. Noch während der Gummi feucht ist, muß das Objectiv in seine Fassung festgeschraubt werden.

Das Objectiv berührt die drei Auflagen seiner Fassung nur an drei Stellen, deren Mitten 120° von einander entfernt sind; der übrige Theil der Auflage ist an der dem Objectiv (der Convexlinse) zugekehrten Seite etwas weniger ausgefeilt, so daß er die Glasfläche nicht berühren kann und das Objectiv nur an den genannten drei Stellen aufliegt. Das Objectiv muß nun so in die Fassung gebracht werden, daß die Stanniolblättchen genau dahin zu stehen kommen, wo die drei Auflagen sich befinden.

In dem starken cylindrischen Ringe, welcher die Fassung ausmacht, paßt ein zweiter messingener Ring (der Federring), welcher unmittelbar über das in die Fassung eingelegte Objectiv (die Flintglaslinse) zu liegen kommt und in dieser Lage bis an den Rand des Fassungsringes reicht. In diesem Federringe haben drei Schräubchen, welche ebenfalls um 120° von einander entfernt sind und durch den äußern Fassungsring durch-

gehen, ihre Gewinde, und er ist so weit ausgefeilt, daß er das Objectiv ebenfalls nur an drei Stellen berührt, und zwar da, wo die Blättchen liegen. Diese Stellen des Ringes, welche das Glas berühren, sind unten abgerundet. Die Löcher, welche für die Schräubchen durch den Fassungsring gehen, sind etwas länglich (nach der Richtung der Axe des Objectivs) und haben ihren Ort immer in der Mitte zwischen zwei Plättchen. Man drückt nun an der Stelle, wo ein Schräubchen ist, auf den Federring und schraubt während des Drückens das Schräubchen fest; dasselbe geschieht auch bei andern Schräubchen, so daß das Objectiv mittelst des Ringes und des Schräubchens mit demselben Druck in der Fassung festgehalten wird, mit welchem man auf die genannten Stellen gedrückt hat. Damit ein ungleicher Druck an den drei verschiedenen Orten ausgeglichen werde, so wiederholt man diese Arbeit, nachdem schon alle drei Schräubchen fest sind, noch einmal, aber immer mit ungefähr gleichem Drucke. Da sonach die vordere Fläche der Convexlinse an denselben drei Stellen aufliegt, wo mittelst der Stanniolblättchen die beiden Linsen sich berühren, und an eben diesen Stellen der Federring auf die äußere Fläche der Flintglaslinse drückt, so kann das Objectiv, bei der nöthigen Vorsicht, nicht schädlich gebogen werden, wie fest es auch in seine Fassung geschraubt werde.

Bei dieser Operation müssen die Stanniolblättchen zwischen den Linsen eine völlig gleiche Dicke haben, denn sonst würde das Objectiv seine Centrirung verlieren, da die Axen der beiden Linsen nicht in dieselbe gerade Linie fallen würden. Die völlig gleiche Dicke dieser Blättchen wird nun durch das Objectiv selbst gemessen. Ein solches Objectiv giebt nämlich, wie schon früher bemerkt, wenn die sich berührenden Flächen ganz rein sind, in der Mitte einen aus farbigen Ringen bestehenden Flekken, der, wenn das Objectiv centrirt ist, auch genau in der Mitte sich befindet, wobei natürlich die beiden Flächen am Rande allenthalben einen gleichen Abstand ha-

34 *

ben. Legt man uun am Rande zwischen die beiden Linsen ein Blättchen, dessen Dicke größer ist, als der genannte Abstand, so wird der farbige Flecken aus der Mitte verrückt, und um so weiter, je dicker das Blättchen ist. Man darf daher nur diese Entfernung bei jedem zwischen die Linsen gelegten Blättchen mit einem Zirkel genau messen, so findet man leicht und sehr genau, welche Blättchen von gleicher Dicke sind.

Man muß dabei auf die obere Linse, zwischen dem Blättchen und dem farbigen Flecken, etwas niederdrükken, damit das Blättchen beide Flächen genau berührt. Uebrigens wird nur der vordere Theil des Blättchens zwischen die Linsen gelegt, weil man nur die Dicke dieses Theils zu kennen braucht. Damit dieser gemessene Theil, welcher zum Einschieben zwischen die Linsen des Objectivs bestimmt ist, von dem nicht gemessenen unterschieden werde, schneidet man eine Ecke von demselben ab. Der zu messende Theil des Blättchens wird vor der Messung zwischen zwei ebenen, aber etwas rauhen harten Flächen, z. B. zwischen zwei matten Glasflächen, etwas gerieben, damit die größeren Unebenheiten des Stanniols und seine Krümmung sich verlieren. Solche Blättchen von gleicher Dicke können auch im Vorrath verfertigt werden, je für die verschiedenen Objective, die man bearbeitet' von verschiedener absoluter Dicke; doch ist es wegen der möglichen Oxydirung räthlich, sie nicht zu lange aufzubewahren.

Um beschmutzte Gläser vor dem Einsetzen gehörig zu reinigen, werden sie zuerst mit Weingeist und feiner, abgetragener Leinwand, nachher mit Kreidewasser und einem in Kreidewasser gewaschenen und getrockneten Leinentuch, welches demnach der Kreide wegen etwas staubt, abgeputzt, wodurch der Schmutz weggenommen wird; hernach mit einem Haarpinsel abgestaubt. Die Kreide muß zu diesem Behufe vorher gehörig geschlemmt worden sein.

Bevor man das Objectiv in seiner Fassung befestigt, muß man erst die vortheilhafteste Lage beider Linsen auf

einander untersuchen, weil der Fall möglich sein kann, daß die Linsen in einer gewissen Lage ein deutlicheres Bild erzeugen, als in jeder andern. Der Grund hiervon ist in den kleinen Unregelmäßigkeiten, sowohl in der Figur der Gläser, als auch in der verschiedenen Dichtigkeit ihrer Massen zu suchen. Man setzt daher beide Linsen vorläufig in ihre Fassung und diese in das Rohr mit dem Ocular, betrachtet dadurch einen entlegenen Gegenstand und dreht nach jeder Beobachtung die Converlinse um ihre Are etwas herum, indem man an dem Rande derselben jedesmal ein Zeichen macht und diejenige Stellung bemerkt, in welcher die Gegenstände am deutlichsten und mit der schärfsten Begrenzung erscheinen. Diese Stellung der beiden Linsen gegen einander behält man bei der letzten Einsetzung derselben in die Fassung bei.

Bei dieser Gelegenheit kann man zugleich auch den Grad der Vollkommenheit des Objectivs prüfen, wozu schon früher die nöthige Anleitung gegeben ist. Um das Objectiv in Bezug auf Abweichung wegen der Kugelgestalt zu prüfen, giebt man ihm eine Bedeckung mit einem Kreise von schwarzem Papier, der in der Mitte bis etwa den sechsten Theil des Durchmessers des Objectivs ausgeschnitten ist, und bemerkt die Stellung des Oculars, bei welcher ein Gegenstand am deutlichsten gesehen wird. Hierauf nimmt man diese Bedeckung weg und legt eine andere auf, welche den mittlern Theil des Objectivs zu etwa $\frac{5}{8}$ seines Durchmessers bedeckt, dagegen den Rand frei läßt. Ist die sphärische Abweichung aufgehoben, so muß der Gegenstand eben so deutlich begrenzt erscheinen, als vorher, ohne daß das Ocular verrückt wird. Ist jedoch noch etwas von dieser Abweichung vorhanden, so muß das Ocular hineingeschoben oder herausgezogen werden, je nachdem die Abweichung der Kronglaslinse durch die Flintglaslinse zu schwach oder zu stark compensirt ist. Es ist daher immer ein Zeichen der möglichst aufgehobenen Abweichung, wenn

das Ocular, welches bei der vollen Deutlichkeit des Bildes eine gewisse Stellung hat, nicht viel aus dieser Stellung verrückt werden darf, ohne daß zugleich Undeutlichkeit des Bildes eintrete.

§. 173 Centrirung des Rohres.

Zur Centrirung des Rohres hat Prechtl folgende Anleitung gegeben: Das Fernrohr erhält seine Vollendung, wenn an dem einen Ende des Rohrs die Einsetzung der Fassung mit dem Objectiv, und an dem andern die Einsetzung des Oculars in der Art vollbracht ist, daß die Axe des Rohrs durch den Mittelpunkt der Objectivlinsen geht, oder wenn die Axe des Objectivs mit der Axe des Oculars zusammenfällt. Diese Lage des Objectivs gegen das Ocular ist, zumal bei größern Instrumenten und bedeutenden Vergrößerungen, wesentlich nothwendig, weil sonst die Deutlichkeit des Bildes sehr viel verliert, indem bei allen bisher aufgeführten Bedingnissen und Regeln für den richtigen Weg der Strahlen in dem Fernrohr immer der Parallelismus des Oculars und des Objectivs vorausgesetzt worden ist und bei der Vernachlässigung desselben eine schädliche Abweichung und Verlust des Lichts erfolgt. Es muß daher auf diese letzte Centrirung gleichfalls die nöthige Sorgfalt verwendet werden.

Für kleinere Fernröhre und Zugfernröhre geschieht diese Centrirung auf der Drehbank. Denn wenn mit der Genauigkeit, welche eine gute Supportdrehbank zu gewähren im Stande ist, die Kanten der Röhren, der Ansätze und die Auflagen (wie dieses auch bei den Oculareinsätzen geschieht) senkrecht auf die Axen abgedreht werden, so werden auch der Oculareinsatz und die Objectivfassung die richtige Stellung erhalten; und diese Arbeit kann auf diese Art so genau gerichtet werden, als auf irgend eine mögliche Weise. Ganz kleine Abweichungen kommen bei den minder bedeutenden Vergröße-

rungen, die hier stattfinden, auch weniger in Betracht; und da im Besondern bei dem Zugfernrohre nach dem Ausziehen des Rohrs ein Biegen desselben vorhanden ist, so giebt man für gleiche Oeffnung diesen Röhren ohnehin auch eine geringere Vergrößerung, als den Fernröhren mit dem festen Rohre.

Bei größeren Röhren und Objectiven muß die Centrirung so vollkommen als möglich hergestellt werden. Das Ocular wird in die Mitte des einen Rohrendes eingesetzt, so daß der Mittelpunkt der Ocularöffnung möglichst genau in der Axe des Rohres liegt; das Zugrohr, mit welchem mittelst eines Getriebes das Ocular hin- und hergeschoben werden kann (wenn das Rohr nicht blos für himmlische Gegenstände bestimmt ist), muß sich gedrängt bewegen, damit kein Schlottern möglich werde. Ebenso wird die Objectivfassung, so viel als möglich, senkrecht auf die Axe eingeschraubt.

Die letzte Correction in der Centrirung des Rohrs wird nun auf folgende Weise bewerkstelligt.

In Taf. XV, Fig. 4, sei ABC das Rohr, AB das Objectiv und C der Oculareinsatz, in dessen Deckel sich die Ocularöffnung O befindet. xb ist nun die Axe des Fernrohrs und bei der gehörig richtigen Einsetzung des Objectivs zugleich die Axe des Objectivs und des Oculareinsatzes. Wenn man mit einem andern Fernrohre f, welches vor dem Oculare mit einem Fadenkreuze versehen ist, durch das Objectiv AB sieht, so kann man die Ocularöffnung O erblicken, wenn das kleine Fernrohr die in f angezeigte Lage hat; und man kann dieses Fernrohr so richten, daß der Durchschnitt des Fadenkreuzes genau in die Mitte der Ocularöffnung O falle.

Bringt man nun das kleine Fernrohr in die Lage f', so daß der Winkel, welchen seine Axe mit der Linie bx macht, dem Winkel gleich ist, welchen das Fernrohr in der ersten Lage f mit derselben Linie gemacht hat, so wird man durch das Fernrohr in dieser zweiten Lage, eben so wie in der ersten, den Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes in der Mitte der Ocularöffnung oder das

Fadenkreuz in ihrer Mitte erblicken, weil dann der Winkel nbm nicht mehr dem Winkel abn gleich ist.

Zur Ausführung dieser Operation richtet man ein kleines, in Taf. XV, Fig. 5, dargestelltes, etwa 6" langes Fernrohr her, das ein einfaches oder doppeltes Ocular haben kann, und das in y mit einem Kreuzfaden (aus Spinnweben) versehen ist. Dieses Fernrohr ist um den Zapfen a in der Verticalebene, um das Scharnier b in einer auf dieser senkrechten Verticalebene und um den Zapfen c in der Horizontalebene beweglich, so daß es in jeder beliebigen Richtung festgestellt werden kann. Vermittelst dreier Stützen d ist es auf dem hufeisenförmigen Fuße (Fig. 6), in welchem drei stählerne Spitzen efg, welche unten abgerundet und polirt, eingeschraubt sind, durch Schraubenmuttern befestigt. Zwei dieser Stifte, e und f, stehen etwa um 120° des Kreises, von welchem dieser Fuß ein Ausschnitt ist, von einander entfernt, der dritte g steht etwas näher bei f.

Soll nun das Rohr centrirt werden, so hält man das eben beschriebene kleine Fernrohr mit den drei Spitzen auf die Vorderfläche des Objectivs, so daß die beiden Spitzen e und f, welche am weitesten von einander entfernt stehen, an die Auflage des Objectivs (welche, wie schon früher bemerkt, auf der Drehbank mit dem Supporte vollkommen rund ausgedreht ist), und richtet nun das kleine Fernrohr so, daß man die Ocularöffnung des zu centrirenden Fernrohres erblickt und das Fadenkreuz genau die Mitte derselben durchschneidet. Nachdem man sich hiervon versichert hat, setzt man die drei Spitzen auf die vorige Art an eine andere Stelle des Glases, ohne das kleine Fernrohr selbst aus seiner Lage zu bringen, und sieht nun wieder durch dasselbe. Steht das Fadenkreuz eben so genau, wie vorher, in der Mitte der Oeffnung, so hat das Objectiv seine richtige Lage. Ist dieses aber nicht der Fall, so bemerkt man an der Fassung den Punkt, an welchem das Objectiv etwas gehoben oder gesenkt werden muß, damit durch das kleine Fernrohr das Fadenkreuz die Mitte der Ocularöffnung

durchschneide. Nachdem man diese Adjustirung der Lage des Objectivs verrichtet hat, wiederholt man die Untersuchung mit dem kleinen Fernrohre wie vorher, bis dasselbe an zwei oder drei Stellen des Objectivs dieselbe genaue Lage des Durchschnitts des Fadenkreuzes in der Mitte der Ocularöffnung anzeigt, wornach die Centrirung als vollkommen hergestellt angesehen werden kann.

Das beschriebene kleine Fernrohr kann für Objective von jeder Größe gebraucht werden; nur ist es für bedeutend größere oder kleinere Objective nothwendig, einen größern oder kleinern mit drei Stiften versehenen Fuß an die Träger d anzuschrauben, damit der Stift g nicht zu nahe an dem Rande bleibe, sondern wenigstens um die Hälfte des Halbmessers gegen den Mittelpunkt des Objectivs hineintrete. Das kleine Fernrohr kann man übrigens auch so einrichten, daß es in dem Mittelpunkte zweier beweglichen Ringe, deren Bewegungsebenen senkrecht auf einander sind, befestigt ist, nach der Aufhängungsart des Seecompasses, und unten mit einer Stellschraube, die einer an das Fernrohr drückenden Feder entgegenwirkt, festgehalten wird. Der Fuß mit den Stiften ist dann kreisförmig und concentrisch für das Gesichtsfeld des kleinen Rohrs ausgeschnitten. Diese Einrichtung ist bei dem Gebrauche bequemer, weil sich das Rohr mittelst derselben leichter genau richten läßt; sie ist jedoch etwas complicirter.

Um nun das Objectiv nach den Angaben dieses Instruments mit Genauigkeit richten zu können, damit seine Axe mit der Axe des Oculars zusammenfalle, so ist der vordere Theil des Rohrs, in welchem die Objectivfassung eingeschraubt ist, mit dem in Fig. 7, Taf. XV, dargestellten Ansatze versehen.

A ist das Rohr, an dessen Ende der Ring a b, dessen äußere Peripherie mit einem ein wenig vorstehenden Rande versehen, mit Schrauben befestigt ist. Auf diesen Ring paßt der Ring c d, der in B im Grundrisse zu sehen ist. Der Rand dieses Ringes ist mit einem Schraubengewinde versehen, in welches die Objectivfassung ein-

geschraubt wird. Auf diesem Ringe sind die Entfernungen von 120° die drei Stellschrauben nnn und die drei Ziehschrauben mmm eingelassen; durch die letztern wird der Ring an den Ansatz ab angeschraubt und durch das Anziehen der erstern kann er, nach angemessener Lüftung einer oder der andern Ziehschraube, von demselben auf die gewöhnliche Weise an einer beliebigen Stelle entfernt werden, so daß dem Ringe cd mit der Objectivfassung dadurch jede Lage auf das Genaueste gegeben werden kann.

Die Centrirung des Rohrs kann auf diese beschriebene Weise mit jedem Tubus (mit festem Rohre) bis auf 24 Linien Oeffnung vorgenommen werden.

§. 174. Einsetzung eines Fadenkreuzes nach Bessel.

Das Fadenkreuz besteht aus zwei einander sich senkrecht durchkreuzenden feinen Fäden, durch deren Durchschnittspunkt genau der Mittelpunkt des Gesichtsfeldes bezeichnet wird. Diese Fäden, welche ungemein fein sein müssen, da sie durch die Ocularlinse beträchtlich vergrößert werden, sind auf einem Ringe (Taf. XV, Fig. 8) ausgespannt, welcher in die Ocularröhre in den Brennpunkt des letzten Oculars, oder bestimmter an den Ort des letzten wirklichen Bildes geschoben wird. Die Fäden sind in der Regel Spinnfäden, oft aber auch metallene, welche man von ungemeiner Feinheit dadurch erhält, daß man einen noch nicht sehr dünn gezogenen Silberstab seiner Länge nach so durchbohrt, daß die Oeffnung ein genaues Zehntel von der Dicke des Stäbchens ausmacht. Diese Oeffnung gießt man mit Gold aus und zieht hiernach das Ganze zu einem sehr dünnen Drahte, wodurch begreiflicher Weise das Gold in einen noch dünnern Draht ausgedehnt wird, und wenn der Silberfaden $\frac{1}{500}$ eines Zolles dick ist, so wird der Goldfaden nur $\frac{1}{5000}$ von der Dicke eines Zolles haben. Um ihn vom

Silber zu befreien, legt man ihn einige Minuten in Salpetersäure, welche das Gold unangetastet läßt. Wollaston behauptet, auf ähnliche Weise aus Platina Drähte aus $\frac{1}{18000}$ Zoll Dicke erhalten zu haben, welche mit bloßem Auge gar nicht mehr sichtbar sind, aber doch ein Gewicht von $1\frac{1}{3}$ Gran zu tragen vermögen.

Bessel giebt zur Ausspannung des Fadenkreuzes aus Spinnfäden folgende Anleitung: Man nimmt den Ring, an welchem die Fäden ausgespannt werden sollen, aus der Ocularröhre heraus und zieht auf seiner Peripherie die Linien, die durch den Mittelpunkt gehen und auf einander senkrecht sind. Sollen mehrere Parallelfäden eingezogen werden, so dienen dazu die übrigen in der Figur angezeigten Linien. Man feilt dann den Grat ab und schleift da, wo in der Zeichnung die Schattirungen sind, etwas Metall ab. Dann sucht man ein Spinnennetz (in den Monaten am Ende des Winters findet man diese häufig an dunkeln, mit der freien Luft in Verbindung stehenden Orten), zieht einen Faden heraus und fährt einige Male mit dem Daumen und Zeigefinger daran herab, um ihn vom Staube zu befreien; am besten, indem man ihn mit einer Zirkelspitze, woran sich etwas Klebwachs befindet, festhält und das Netz herabhängen läßt. Man spannt dann einen Theil des Fadens zwischen beiden Zirkelspitzen aus, indem man eine zureichende Länge des Fadens zwischen ihnen mit Klebwachs befestigt, und indem man so den nur mäßig angespannten reinen Faden zwischen den Zirkelspitzen hält, behaucht man ihn, um ihn noch etwas stärker anzuspannen. Dann legt man den Ring, worin er eingespannt werden soll, auf einen Tisch, auf welchem ein Blatt schwarzes Papier befindlich ist, und legt den Zirkel so darüber weg, daß der Faden einer darauf gezeichneten Linie entspricht. Ist er schon stark genug gespannt, so kann man ihn sogleich festkleben, und dieses geschieht am besten dadurch, daß man ein nicht scharfes eisernes Instrument, z. B. einen Schraubenzieher mit hölzernem Heft, im Licht erhitzt, dann etwas Wachs an die Spitze bringt

und dann wieder so stark erhitzt, bis dieses anfängt zu verdampfen; dadurch wird das Wachs im höchsten Grade flüssig und man kann hiermit den Faden sehr gut befestigen; daß der Schraubenzieher nicht an der Spitze ins Licht kommen muß und nicht beräuchert sein darf, versteht sich von selbst. Ist der Faden noch nicht gespannt genug gewesen, so reißt man ihn, nachdem nur das eine Ende angeklebt worden, von der andern Zirkelspitze los und spannt ihn, ehe man die zweite Befestigung anbringt, mit der Hand stärker (dies kann dadurch geschehen, daß man den Ring so sehr belastet, daß der Faden nur noch kaum stark genug ist, ihn fortzuziehen, und indem man dann durch dieses Fortziehen den Faden völlig spannt), worauf dann die Befestigung wie vorhin erfolgt. Um sich zu überzeugen, ob der Faden gut gespannt ist, thut man wohl, ihn nach der Befestigung zu behauchen und schnell mit einer Lupe zu besehen, um gewahr zu werden, ob er selbst in feuchtem Zustande hinreichend gespannt bleibt. Wenn alle Fäden eingezogen sind, kann man auf die Rinnen, in welchen sie liegen, kleine Punkte von Lackfirniß machen, nach dessen Austrocknen das Wachs, wenn es im Wege sein sollte, weggenommen werden kann. Die zu dieser Arbeit nöthige Uebung erwirbt man sich leicht, wenn gleich der erste Versuch die Geduld wohl oft sehr ermüdet.

§. 175. Von den Spiegelteleskopen.

Das Newton'sche Spiegelteleskop hat, wie alle Teleskope; an Stelle des Objectivglases einen Hohlspiegel, so daß das Bild durch Reflexion von einem Hohlspiegel entsteht.

Nach Newton's Vorschlag ist das Spiegelteleskop folgendermaßen eingerichtet. ABCD (Taf. XVIII, Fig. 4) ist eine hinlänglich starke, innen geschwärzte Röhre von Holz oder Blech, deren nach dem Gegenstande zugekehrtes Ende offen ist. Am entgegengesetzten Ende befindet

sich ein Hohlspiegel SS von einer langen Brennweite, welcher das Objectivglas des dioptrischen Fernrohrs vertritt und die von dem Objecte MN kommenden Strahlen nach F reflectirt, woselbst ein Bild von MN entstehen müßte. Aber ehe die Strahlen in F sich vereinigen, werden sie von dem kleinen ebenen Spiegel E, der gegen die Axe des Rohrs unter einem Winkel von 45 Graden geneigt ist, aufgefangen und nach der Seite reflectirt, so daß nun das Bild von MN bei mn sich befindet. Dieses Bild wird durch das Augenglas O betrachtet, und somit ist dieses Spiegelteleskop ganz ähnlich dem astronomischen Fernrohr, und es wird daher auch der Sehwinkel so viel Mal vergrößert werden, als die Brennweite des Augenglases in der des Spiegels enthalten ist.

Das Gregory'sche Spiegelteleskop besteht aus einer Röhre von starkem Blech, deren vorderes Ende bei A offen ist. Diese Oeffnung wird um einen kleinen Theil durch einen festgemachten Ring gemäßigt, in welchen ein Deckel eingeschraubt werden kann (Taf. X, Fig. 1).

An dem hintern Theile der Röhre ist der Hohlspiegel MN befestigt, welcher genau in der Mitte bei B durchlöchert ist, damit man durch ihn hindurchsehen kann. Der Spiegel MN entwirft nun in seinem Brennpunkte F Bilder der Gegenstände, welche durch den offenen Theil A der Röhre Strahlen auf ihn werfen können. Von diesem Bilde bei F entwirft der kleine Hohlspiegel S ein zweites Bild, in einer Entfernung, die noch etwas größer ist, als der Abstand beider Spiegel, und damit dieses geschehen kann, muß also der Brennpunkt F des großen Spiegels weiter vom kleinen Spiegel abstehen, als dessen Brennpunkt f, oder die Distanz beider Spiegel muß größer sein, als die Summe ihrer Brennweiten. Der kleine Spiegel hat eine kurze Brennweite, und da der Abstand der beiden Brennpunkte f und F nur gering ist, so geschieht es, daß das zweite Bild in eine so große Entfernung vom Spiegel S fällt. —

Von dem kleinen Spiegel also nehmen die Strahlen ihren Weg wieder rückwärts und gehen durch das Loch B des großen Spiegels, worauf sie sich zum zweiten Male zu einem Bilde vereinigen, welches aufrecht (als das verkehrte Bild des Bildes bei F) und größer ist, als das Bild bei F. Wird nun endlich das zweite Bild durch ein in der Röhre BC aufgestelltes Doppelocular betrachtet, so ist das Gregory'sche Spiegelteleskop zu Stande gebracht; von dem Doppeloculare BC steht die eine Linse im Loche des großen Spiegels selbst.

Damit man das Instrument für die größere oder geringere Entfernung der Objecte oder nach der Verschiedenheit der Augen einrichten könne, so ist der kleine Spiegel verschiebbar, denn die Ocularröhre BC bleibt unbeweglich fest und der Abstand der Oculare darf nicht geändert werden, damit der farbige Rand nicht hervortrete. Die Verschiebung des Spiegels S geschieht auf folgende Weise; der kleine Spiegel ist an den eisernen Arm c festgeschraubt und dieser auf dem eisernen Ringel ba befestigt, der in einer Nuth verschiebbar ist. Bei ba hat die Röhre einen Schlitz von gehöriger Länge, damit der auf dem Ringel ba festsitzende Griff d einen hinreichenden Spielraum habe, um den kleinen Spiegel nach Erforderniß zu verschieben. In dem Griffe d steckt der lange messingene Stab tt, welcher hier eine hinreichende Anzahl Schraubengänge hat, vermöge welcher der Griff d mit allem, was mit ihm fest zusammenhängt, fortgeschoben wird, wenn man den Stab bei w faßt und herumdreht. Durch die Halter in u bewirkt man, daß der Stab tt, wenn er umgedreht wird, sich nicht fortbewegen und in den Griff d einschrauben kann, in welchem Falle der kleine Spiegel S stehen bleiben würde.

Die Ocularröhre BC ist in einen Deckel geschraubt, welcher die Hauptröhre hinter dem großen Spiegel verschließt; sie besteht aus zwei in einander verschiebbaren Röhren, und in der kleineren, im Brennpunkte des letzten Oculars befindet sich eine Blendung, gerade so, wie bei dem Doppelocular eines astronomischen Fernrohrs.

Fast ganz nach denselben Grundsätzen, wie das Gregory'sche Spiegelteleskop, ist auch das von Cassegrain gebaut. Der große Objectivspiegel M N (Tafel X, Fig. 2) empfängt von einem Gegenstande Parallelstrahlen und reflectirt sie nach seinem Brennpunkte F, aber ehe sie sich hier zu einem Bilde vereinigen können, werden sie von dem kleinen Convexspiegel S aufgefangen und durch das Loch A des großen Spiegels zurückgeworfen. Fiele der eingebildete Brennpunkt des kleinen Spiegels gerade auch in F, so würden die Strahlen nach der zweiten Reflexion parallel werden; aber die Zerstreuungsweite des Convexspiegels ist größer als SF, so daß der Zerstreuungspunkt etwa in f fällt, und darum bleiben die nach F zu convergirenden Strahlen auch nach der zweiten Reflexion convergirend, nur convergiren sie weniger stark und vereinigen sich erst, nachdem sie durch das Loch des großen Spiegels hindurchgegangen, zu einem wirklichen kleinen Bilde c d, welches in Bezug auf das Object die umgekehrte Lage hat. Dieses Bild wird endlich durch ein achromatisches Doppelocular A, B betrachtet. — Die Adjustirung des Rohrs nach der Verschiedenheit der Augen oder der Entfernung der Gegenstände wird ebenfalls, wie beim Gregory'schen Teleskop, durch Verschiebung des kleinen Spiegels S bewirkt.

§. 176. Das neue Spegelteleskop von Steinheil.

In der neuesten Zeit hat Steinheil in München, nach den Gelehrten-Anzeigen der Akademie, ein Teleskop construirt, das durch Silberspiegel auf Glas wirkt und auch darin neu ist, daß die sphärische Abweichung des großen Spiegels durch ein negatives achromatisirendes Objectiv streng gehoben ist. Der Teleskopspiegel hat 3 Pariser Zoll freie Oeffnung und nur 18 Zoll Brennweite. Das compensirende Objectiv greift 2 Zoll vom Brennpunkte aus gegen den Spiegel in den Lichtconus

ein, und bewirkt, daß von hier aus das Verhältniß der Vereinigungsweite zur Oeffnung wie 12 : 1, also eben so wird, wie es jetzt bei Fernröhren oft hergestellt wird. Dadurch geben die nun üblichen Oculare, ungeachtet der bis jetzt noch nie erlangten Kürze des Instrumentes, dennoch dieselben Vergrößerungen, als wenn der Teleskopspiegel 36 Zoll Brennweite hätte. Unmittelbar hinter dem Corrections-Objectiv, das 9 Linien Oeffnung hat und verkittet ist, steht der kleine Planspiegel in directer Verbindung mit dem Ocularträger, der sich längs des Rohres im Mikrometerschlitten bewegt. Dieses Teleskop entspricht vollständig den Erwartungen, die Herr Steinheil in einem Schreiben an Director Peters, den Herausgeber der astronomischen Nachrichten, ausspricht, wie in Nr. 1138 dieser Zeitschrift zu lesen ist. Der Lichtverlust des nach Liebig's Methode versilberten großen Spiegels beträgt nur 9 Procent. Die Dicke der Silberschicht ergiebt sich nach Messungen mit einem neuen Steinheil'schen Sphärometer, der 3 Milliontel einer Linie noch deutlich zeigt, zu ein dreißigtausendtel Linie. Durch die Silberschicht sieht man das Sonnenbild wie durch ein blaues Moderationsglas als scharf begrenzte Scheibe, und es läßt die gleichmäßige Intensität des Sonnenbildes, durch alle Theile des Spiegels betrachtet, erkennen, daß sich die Dicke der Metallschichte wohl nirgend um ihren zehnten Theil ändert. Es bildet daher der Metallüberzug des Glasspiegels mit der polirten Glasfläche eine Aequidistante, die nirgend von der Gestalt des Spiegels mehr als ein dreimalhunderttausentel einer Linie abweicht und somit auch bei den strengsten Anforderungen an Gestalt der Flächen, selbst für die größten Instrumente genügen werde. Was die Reinheit, Farblosigkeit und Schärfe des Bildes dieses Teleskops anbelangt, so übertrifft es darin die allerbesten Achromaten so eminent, daß der erste Blick keinen Zweifel läßt.

Namentlich ist dadurch der Eindruck sehr angenehm, daß auch beim Schwanken des Auges keine Spur von

Farbe sichtbar wird, während alle Fernröhre der Welt farbige Säume zeigen, sobald der Lichtbüschel die Pupille nur theilweise trifft, da kein Achromate ein unsymmetrisches Verdecken des Objectivs erträgt. Dieses Teleskop wird sich also noch ganz besonders zu Heliometern eignen. Ueberhaupt ist die Tragweite dieses neuen optischen Princips noch nicht abzusehen, da mit einem sehr geringen Aufwand von mechanischer Arbeit ganz vollendete Bilder erzielt werden. Diese stehen zwar jetzt in der Helligkeit bei gleicher Oeffnung noch etwas ($\frac{1}{22}$tel) gegen die Achromaten zurück. Allein sie können dagegen bei sehr kurzen Längen eine ungemein große optische Kraft erhalten. Herr Steinheil läßt jetzt ein 6zölliges Teleskop dieser Art ausführen, was nur 33 Zoll lang ist, leicht getragen und am Fenster benutzt werden kann und in der Wirkung einem Refractor wenigstens gleichkommt, der 8 Fuß Brennweite hat und nur auf Sternwarten benutzt werden kann. Bedenkt man überdies, daß diese Instrumente bei gleicher Leistung wohl nicht die Hälfte im Vergleich zu jetzigen Achromaten kosten werden und daß sie diesen an Dauerhaftigkeit nicht nachstehen, da durch das Glas die genaue Gestalt für alle Zeiten erhalten wird, neue Versilberung aber nicht mehr Mühe kostet, als das Reinigen des Objectivs, was auch jährlich vorgenommen werden muß, so scheint durch die Anwendung der Silberspiegel dem Freunde der Astronomie, so wie dem Manne des Faches, der Gebrauch mächtiger Instrumente unter allen Verhältnissen ermöglicht zu sein. Herr Steinheil verspricht schließlich uns demnächst ein katadioptrisches Mikroskop vorzulegen, was nach ähnlichen Principien wie dieses Teleskop berechnet und construirt sei.

Eben derselbe hat in Folge einer Anregung des Professor Seidel und mit Genehmigung des hohen Ministeriums für die mathematisch-physikalische Sammlung des Staates ein 4zölliges parallaktisch montirtes Fernrohr anfertigen lassen, was, mit einem neuen Ocularphotometer versehen, bestimmt ist, die Helligkeitsmessun-

gen der Sterne bis zur 7. Größenklasse zu ermöglichen. Dieses Instrument, welches Herr Steinheil der Klasse bereits vorzeigte, soll an Herrn Professor Seidel auf 3 Jahre zur freien Benutzung übergeben werden, um denselben in den Stand zu setzen, seine schönen und nützlichen Arbeiten in der Photometrie des Himmels auch auf kleinere Sterne auszudehnen, als das bisher benutzte Instrument von Herrn Steinheil, was nur 13 Linien Oeffnung hat, gestattete.

Diesem Photometer liegt die Idee zu Grunde, je zwei Sterne durch Zuziehung eines dritten, der während der zwei Vergleichungen seine Helligkeit nicht ändert, zu bestimmen. Hierdurch ist es möglich geworden, ohne auf die Elimination der Helligkeit des Grundes zu verzichten, auf dem die beiden Sterne erscheinen, den Apparat in eine bloße Ocularvorrichtung umzugestalten. Diese läßt sich an jedem Fernrohre anbringen womit die Schwierigkeit entfernt ist, die bisher bestand, daß zu solchen Messungen ein dazu ausschließlich bestimmtes Instrument erforderlich war.

Indessen gestattet auch dieses Instrument nicht, die kleinsten Sterne, die es zeigt, in Helligkeit mit einander zu vergleichen, weil ein schwacher Stern verschwindet, wenn er in eine Lichtfläche ausgedehnt wird. Dieser Nachtheil trifft die Methode, und ist nicht zu entfernen durch Benutzung großer Instrumente. Denn auch bei diesen werden immer noch circa 5 Größenklassen weiter sichtbar sein, als verglichen werden können. Die Messungen durch Lichtflächen werden sich somit nie bis zu den kleinsten Sternen ausdehnen lassen, die unsere Instrumente noch zeigen. Um die kleinsten sichtbaren Sterne zu vergleichen, muß die Vergleichung nothwendig im Bilde vorgenommen werden. Allein alle bisherigen Versuche der Art haben zu keinem Erfolge geführt und konnten es auch nicht, weil man immer darauf ausging, den hellern Stern durch Verengung des Objectivs Licht zu entziehen, um ihn gleich hell mit dem kleinern zu machen. Dadurch aber wird das Beugungsscheibchen

nothwendig um so größer, je kleiner die Objectivöffnung wird. In demselben Maße wird aber auch die Beleuchtung des Scheibchens matter, so daß man einen matten Lichtkreis in Helligkeit zu vergleichen hätte mit einem durchmesserlosen stehenden Lichtpunkte. Da die beiden Erscheinungen durchaus keine Aehnlichkeit haben, ist es klar, daß alles Urtheil über gleich hell aufhört, und daß sie auf diese Weise, die übrigens von Humboldt, Herschel, Gerling u. A. vielfach angewandt wurde, nicht sicher zu vergleichen sind.

Zwei Sterne sind offenbar nur dann als gleich in Helligkeit zu beurtheilen, wenn ihre Beugungsscheiben gleich groß sind. Soll daher ein Vergleichungsstern hergestellt werden, dessen Beugungsscheibchen im Durchmesser abnimmt mit der Helligkeit und dieser proportional, so muß das Verhältniß der Oeffnung und Brennweite des Objectivs, welches ihn zeigt, dasselbe bleiben wie bei dem Stern, den das Hauptfernrohr zeigt, und die Verminderung des Lichtes muß jedes kleinste Element des Objectivs treffen. Denn auch auf diese Art würden aus beiden zu vergleichenden Sternen gleich große Lichtflächen von gleicher Helligkeit, wenn man beide Lichtconus in gleichem Abstand vom Bilde betrachtet, und daher müssen auch im Bilde selbst die zwei Sterne noch als gleich hell erscheinen.

Diese Bedingung hat nun Herr Steinheil erfüllt durch Anbringung eines Fernrohres, was um so mehr verkleinert, je weiter sein gegen den Vergleichungsstern gerichtetes Ocular herausgezogen wird, und es giebt die Verstellung des Oculars das Maß für die Verminderung der Helligkeit. Auf diese Weise lassen sich die Sterne im Bilde eben so sicher vergleichen, als durch Lichtscheiben, weil man auch hier bei gleicher Helligkeit der Fläche, aber bei gleicher Größe derselben vergleicht, die Vergleichung somit auf dasselbe Princip zurückgeführt ist.

Dieses neue Photometer besteht blos in einem eigens construirten Ocular und läßt sich bequem an jedem Fernrohre ohne alle Abänderung anwenden, so daß die

Bestimmung der kleinen Sterne, die ihrer großen Anzahl wegen viele Beobachter fordert, die sich in die Arbeit theilen, von jedem vorgenommen werden kann, der im Besitze eines Fernrohrs ist.

Herr Steinheil glaubt seine Methode der Bestimmung der Lichtmengen der Sterne durch diesen neuen Beitrag wesentlich vervollständigt zu haben, da erst jetzt alle Sterne vergleichbar sind, und wird eine ausführliche Beschreibung des neuen Apparats mit Abbildung für die Denkschriften bearbeiten, da auch seine erste Arbeit über diesen Gegenstand: „Elemente der Helligkeitsmessungen" in den Denkschriften gedruckt ist.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß das Newton'sche Spiegelteleskop vom Standpunkt der Theorie aus ungemeine Vorzüge vor dem Fernrohre besitzt, weil seine Theorie streng richtig ist und daher auch mehr leisten muß, als die vollendetste Dioptrik. Denn hier wird der Lichtstrahl nicht in seine Farben zerlegt, wie bei der Durchdringung der Glaslinsen. Es entstehen also jene Farbensäume der Bilder gar nicht, deren Hebung in der Dioptrik die größte Schwierigkeit bildet und die nie vollständig gelingt, namentlich bei großen Refractoren unvermeidlich bleibt. Aber die Teleskope hatten so große Mängel anderer Art im Vergleich zu den Refractoren, daß sie bei uns in Deutschland (etwa mit Ausnahme von Lilienthal) eigentlich nie Eingang fanden. Nur in England, dem Lande, wo sie erfunden worden, hat man sie mit Erfolg in der Wissenschaft benutzt. Die Mängel der Spiegelteleskope, die bisher alle Talente dieser Sphäre abschreckten, ihre Kräfte der Verbesserung dieser Instrumente zu widmen, und sie veranlaßten, sich der Dioptrik zuzuwenden, sind nun hauptsächlich folgende: 1) beträgt der Lichtverlust bei Reflexion von Metallspiegeln 33 Procent und mehr, so daß ein Teleskop, das zweimalige Reflexion des Lichtes fordert, 55 Procent des einfallenden Lichtes absorbirt und also fast doppelt so großen Durchmesser als ein Fernrohr nöthig hat, um gleichviel zu leisten. 2) Ein noch schlim-

merer Uebelstand bei den Spiegelteleskopen ist ihre geringe Dauerhaftigkeit. Sehr bald laufen die Spiegel durch Einwirkung von Gasarten an, und ein Aufpoliren, um sie zu reinigen, hat in der Regel den Untergang der genauen Gestalt des Spiegels und damit seiner Leistung zur Folge. Außerdem aber zeigen 3) die Spiegelteleskope nie so scharf als die Refractoren, weil die sphärische Abweichung des Spiegels hier nicht so, wie bei den Fernröhren vernichtet werden kann.

Das Steinheil'sche Teleskop ist nun frei von diesen Mängeln. Eine dem Anscheine nach unbedeutende chemische Erfindung hat die Entfernung aller Mängel des Teleskops ermöglicht und ist also von unberechenbarem Nutzen für Optik und Astronomie. Liebig's Versilberung polirter Glasflächen, nach einer neuen, bis dahin noch nicht veröffentlichten Methode ist nämlich so überaus gleichmäßig und dünn, daß die Metallseite der Versilberung eine vollkommene Aequidistante der Glasfläche bildet und durch bloßes Abreiben mit weichem Leder zum hochpolirten Spiegel wird. Dabei haftet diese höchst dünne Silberschicht so fest an dem Glase, daß der Spiegel selbst hohen Temperaturen ausgesetzt werden kann, ohne sich wie die bisherigen ähnlichen Versilberungen abzulösen. Nach Messungen von Steinheil ist der Lichtverlust dieser Silberspiegel unter 45° nur 9 Procent (S. Astron. Nachr. Nr. 1138). Er beträgt also bei zweimaliger Reflexion nur 17 Proc., während ein Fraunhofer'sches Objectiv 23 Proc. Lichtverlust hat. Teleskope mit Silberspiegeln stehen sonach den Fernröhren gleicher Oeffnung in Helligkeit nicht nach. Nun hat aber Steinheil auch Mittel gefunden, die sphärische Abweichung der Spiegel durch ein kleines negatives Objectiv, das einen Theil des Oculars bildet, in aller Strenge, wie bei den Refractoren, aufzuheben, so daß die Deutlichkeit des neuen Spiegelteleskops selbst die der besten Fernröhre übertrifft, weil keine Spur von farbigen Säumen an den Bildern sichtbar wird. Die mit einer Silberschicht von der Dicke eines Dreißigtau-

sendtels einer Linie belegte, genau sphärisch polirte Glasfläche des Spiegels bleibt sonach stets geschützt durch die Silberschicht. Selbst wenn diese mit der Zeit anläuft und durch Abreiben mit Leder wieder rein gemacht werden muß, bleibt die Glasfläche unberührt, und damit die genaue Gestalt erhalten. Ja, wenn mit der Zeit auch die Versilberung des Spiegels wieder erneuert werden muß, so ist dazu nicht mehr Mühe und Vorsicht erforderlich, als jetzt beim Reinigen der Objective. Diese Teleskope sind also wenigstens eben so dauerhaft als Refractoren. Sie bieten aber noch andere wesentliche Vortheile. Es kann nämlich die Oeffnung im Verhältniß zur Brennweite viel größer, als bei Fernröhren gemacht werden. Das vorgelegte Teleskop hat 3 Zoll Oeffnung und 18 Zoll Brennweite, während es in der Leistung einem 3zölligen Fernrohre von 42 Zoll Brennweite sehr nahe gleich kommt. Ein sechszölliges Teleskop bekommt nur 33 Zoll Länge, und bleibt somit leicht transportabel und am Fenster benutzbar, während die Anwendung eines sechszölligen Refractors gleicher Leistung eine Sternwarte erfordert.

Endlich ist die Herstellung dieser Teleskope einfach zu der des Refractoren, und ganz unabhängig von homogenem wellenfreien Glas, so daß die Preise, im Vergleich mit denen der Refractoren von gleicher Leistung von Merz kaum ein Viertel betragen werden. Diese Vortheile sind so erheblich, daß wir hoffen dürfen, die Silberspiegelteleskope bald eingeführt zu sehen. Sie scheinen nicht nur geeignet, in der Wissenschaft Anwendung zu finden, sondern sie werden auch den Freund der Astronomie in den Stand setzen, die Wunder des Himmels sich ohne große Opfer näher als bisher ansehen zu können.

Siebentes Capitel.

Von den Mikroskopen.

---

§. 177. Die Lupe oder das einfache dioptrische Mikroskop.

Wir haben oben gesehen, daß die scheinbare Größe eines Gegenstandes von der Größe des Sehwinkels abhängt, unter welchem er erscheint; der Sehwinkel wird aber um so größer, je mehr der Gegenstand dem Auge genähert wird; nun aber können wir ihn nur bis zu einer gewissen Grenze, der Weite des deutlichen Sehens, dem unbewaffneten Auge nähern, wenn noch eine scharfe Unterscheidung der Grenzen und der einzelnen Theile möglich sein soll, und dadurch ist auch einer weiteren Vergrößerung des Sehwinkels eine Grenze gesetzt. Ein jedes Instrument, welches eine weitere Vergrößerung für den Sehwinkel kleiner naher Gegenstände möglich macht, als es bei unbewaffnetem Auge der Fall ist, wird ein Mikroskop genannt. Nach dieser Erklärung ist auch die kleine Oeffnung im Kartenblatt, welche früher besprochen

wurde, ein Mikroskop, und zwar ein einfaches; doch bezeichnet man mit dem Namen des einfachen Mikroskops in der Regel nur Collectivlinsen von kurzer Brennweite. Um zu begreifen, wie eine einfache Sammellinse als Mikroskop dienen kann, braucht man nur einen Blick auf Taf. XXIII, Fig. 1 zu werfen. Es sei AB ein Gegenstand, der sich innerhalb der Brennweite der Sammellinse befindet, so divergiren alle von einem Punkte des Gegenstandes AB ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse gerade so, als ob sie von dem entsprechenden Punkte des Bildes ab herkämen, wie dies schon früher gezeigt wurde; ein hinter der Linse befindliches Auge wird aber den Gegenstand durch die Linse deutlich sehen können, wenn sich das Bild ab in der Weite des deutlichen Sehens befindet; in diesem Falle aber liegt der Gegenstand selbst dem Auge weit näher; ohne diese Linse würde man ihn also nicht mehr deutlich sehen können. Die vergrößernde Kraft der Linse ist also im Wesentlichen darin zu suchen, daß sie es möglich macht, den Gegenstand dem Auge sehr nahe zu bringen, wodurch dann natürlich auch der Sehwinkel vergrößert wird.

§. 178.

Um die durch die Lupe hervorgebrachte Vergrößerung zu bestimmen, müssen wir die Größe des Sehwinkels, unter welchem das in der Weite des deutlichen Sehens befindliche Bild ab dem Auge erscheint, mit der Größe des Sehwinkels vergleichen, unter welchem der Gegenstand selbst gesehen würde, wenn er eben so weit vom Auge entfernt wäre.

Genau läßt sich der Winkel, unter welchem das Bild ab erscheint, nur dann ermitteln, wenn die Entfernung des Glases vom Kreuzungspunkte im Auge bekannt ist; wenn man aber das Auge dicht hinter das Glas hält und die Dicke der Linse selbst unbedeutend ist,

so kann man als erste Annäherung das Auge als mit dem Mittelpunkte o der Linse zusammenfallend annehmen; unter dieser Voraussetzung ist nun die Vergrößerung leicht zu berechnen.

Von o aus gesehen erscheint der Gegenstand A B und das Bild a b unter gleichem Gesichtswinkel; wir finden also die Vergrößerung, wenn wir den Gesichtswinkel, unter welchem A B erscheint, mit demjenigen vergleichen, unter welchem derselbe Gegenstand erscheinen würde, wenn es bis in die Weite des deutlichen Sehens von o entfernt, wenn es also an die Stelle des Bildes a b gesetzt wäre. Da die scheinbare Größe eines Gegenstandes seiner Entfernung vom Auge umgekehrt proportional ist, so verhält sich der Gesichtswinkel A o B zu dem Winkel, unter welchem A B von o aus betrachtet erscheinen würde, wenn dieser Gegenstand bis a b fortgerückt wäre, umgekehrt wie die Entfernung des Gegenstandes A B von o zu der des Bildes a b. Bezeichnen wir die Entfernung des Bildes von o mit d, die Entfernung des Gegenstandes A B von o aber mit x, so ist die Vergrößerung $\frac{d}{x}$, wo für d die Weite des deutlichen Sehens zu setzen ist.

Zwischen der Entfernung d des Bildes, der Entfernung x des Gegenstandes und der Brennweite besteht aber die Beziehung

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

und daraus

$$\text{folgt } x = \frac{d\,f}{d + f}.$$

Setzt man diesen Werth von x in den Quotient $\frac{d}{x}$, so erhält man für die Vergrößerung den Werth

$$\frac{d + f}{f}$$

Das heißt mit Worten: man findet die Vergrößerung durch die Lupe, wenn man zur Weite des deutlichen Sehens die Brennweite des Glases addirt und die erhaltene Summe durch die Brennweite dividirt. Wäre z. B. die Weite des deutlichen Sehens 10 Zoll, die Brennweite der Lupe 2 Zoll, so würde die Vergrößerung $\frac{12}{2} = 6$ sein.

Der Quotient $\frac{d + f}{f}$ wird um so größer, je kleiner f ist; je kleiner also die Brennweite der Linse ist, desto stärker vergrößert sie.

Es ist keineswegs gleichgültig, welche Gestalt eine Linse hat, die als Lupe gebraucht werden soll, indem, wie sich durch Rechnung sowohl, wie durch Construction nachweisen läßt, für eine biconvexe Linse, an welcher beide Flächen von gleichem Krümmungshalbmesser sind, die Fehler der sphärischen Aberration und der Farbenzerstreuung stets bedeutender ausfallen, als für eine planconvexe Linse von gleicher Brennweite, wenn man die ebene Seite dem Objecte zuwendet.

Weit davon entfernt also, das Licht auf der Netzhaut zu vergrößern, bringt eine Linse, welche dicht vor's Auge gehalten wird, eine Verkleinerung desselben hervor, und sie wirkt vornehmlich dadurch vortheilhaft, daß sie dem Netzhautbildchen die Reinheit und Bestimmtheit verschafft, die ohne Einschiebung der Linse fehlen würden.

Diese Wahrnehmung ist deshalb interessant, weil sie uns mit Bestimmtheit darthut, wie groß der noch bei Vielen obwaltende Irrthum ist, als ob die Vortrefflichkeit eines Mikroskopes von dessen Vergrößerungsvermögen abhinge. Dadurch wird die eigentliche Bestimmung dieses Instruments gänzlich verkannt, die dahin geht, diffuse Netzhautbilder in scharfe und reine Bilder umzuwandeln. Bei Benutzung des einfachen Mikroskopes kommt die Vergrößerung selbst großentheils auf Rechnung des Auges, und es besitzt dasselbe in dieser Beziehung, wenn man die Sache von theoretischer Seite

ansieht, ein unbeschränktes Vermögen. Indessen wird derjenige, welcher nicht näher als bei 200 Millim. Entfernung scharf sieht, sich wohl hüten, Dinge, die er genau ansehen will, bis auf 50 Millim. zu nähern, wo er sie viermal größer sehen würde; denn durch Erfahrung weiß er, daß, wenn die Größe auf solche Weise vermehrt wird, die Deutlichkeit des Gesichtseindruckes mehr verliert als gewinnt.

§. 179.

Wir lassen noch die Theorie der Lupe nach Harting folgen, indem (Taf. XXIII, Fig. 2) c′ die Netzhaut, o den Kreuzungspunkt, R den optischen Mittelpunkt der Lupe, c den Ort des Objects, c″ jenen des scheinbaren Bildes bezeichnet. Ist dann ferner

d der Durchmesser des Objects,
d″ „ „ „ scheinbaren Bildes,
d′ „ „ „ Netzhautbildchens,
$a = c''o$ die mittlere Sehweite, vom Kreuzungspunkte an gerechnet,
$b = Ro$ die Entfernung der Lupe vom Kreuzungspunkte,
$c = c'o$ die Entfernung der Netzhaut vom Kreuzungspunkte,
p die Brennweite der Lupe, so haben wir

$$d'' : d = c''R : cR.$$

Nach einer bekannten Formel ist aber

$$cR = \frac{p \cdot c''R}{c''R + p},$$

und so erhalten wir statt der vorigen Gleichung

$$d'' : d = 1 : \frac{p}{c''R + p},$$

oder, da $c''R = a - b$ ist,

$$d'' : d = 1 : \frac{p}{a - b + p},$$

$$\text{mithin } d'' = \frac{a - b + p}{p} \cdot d.$$

Da ferner die Richtungslinien a″ o a′ und b″ o b′ (Taf. **XXIII**, Fig. 3), wodurch die Größe des Netzhautbildchens bestimmt wird, in o sich kreuzen, so haben wir

$$d' : d'' = o\,c' : o\,c'',$$
$$= o : a$$
also $$d = \frac{c\,d''}{a}$$
$$= \frac{a - b + p}{a} \cdot \frac{c\,d}{p}$$
$$= \left(1 + \frac{p - b}{a}\right) \cdot \frac{c\,d}{p}.$$

Bei dieser Bestimmung des Durchmessers des Netzhautbildchens sind b, c, d, p gegebene Größen, die *nur* von dem Messen des Auges, sowie von der Lage und vom Focus der Lupe abhängig sind, an denen daher auch die Kurzsichtigkeit oder Fernsichtigkeit des Auges nichts ändert. Nur auf die mittlere Sehweite a, d. h. auf die Entfernung des deutlichen Sehens, üben diese einen Einfluß. Um zu erforschen, wie dieser Einfluß sich äußert, wollen wir drei Fälle unterscheiden.

1) p = b, d. h. die Brennweite der Lupe ist gleich der Entfernung der Lupe vom Kreuzungspunkte. Dann ist $d' = \frac{c\,d}{p}$. Der Einfluß der Kurzsichtigkeit oder Fernsichtigkeit verschwindet in diesem Falle gänzlich, das Netzhautbildchen ist bei Myopen und Presbyopen gleich groß.

2) p ist größer als b. Der Bruch $\frac{p - b}{a}$ also auch d′ wird um so größer sein je kleiner der Nenner a ist. In diesem Falle ist also das Netzhautbildchen beim Kurzsichtigen größer als beim Fernsichtigen.

3) p ist kleiner als b. Der Bruch $\frac{p - b}{a}$ wird hier negativ, d′ also wird um so kleiner, je kleiner a ist.

Demnach ist hier das Netzhautbildchen beim Kurzsichtigen kleiner, als beim Fernsichtigen.

Man sieht leicht ein, daß der letztgenannte Fall der gewöhnliche ist, ja sogar der allein mögliche bei stark vergrößernden Lupen, deren Brennweite p weniger als 10 Millim. beträgt, während R o oder b stets größer ist, als der Abstand von der Hornhaut und vom Kreuzungspunkte, also mehr als 10 Millim. beträgt.

Die Glaskügelchen, die man früher, als das zusammengesetzte Mikroskop und später das applanatische noch sehr theuer waren, als Linsen anwendete, übergehen wir und bemerken nur, daß die sphärische Aberration in der neuesten Zeit auf ein Minimum reducirt ist, indem mon den beiden Oberflächen der Linsen einen passenden Krümmungsgrad ertheilt.

1) Bei Kronglas mit dem Brechungsindex 1,534 ist die sphärische Aberration, wie wir gesehen haben, am schwächsten, wenn die Radien beider Oberflächen sich wie 1 : 8,6 zu einander verhalten, und mit der Zunahme des Brechungsindex wächst auch die Differenz dieses Verhältnisses. Da nun eine planconvexe Kronglaslinse in ihrer Gestalt einer Linse von der besten Form schon sehr nahe kommt, so folgt hieraus, daß solche Linsen immer den Vorzug verdienen vor jenen, die auf beiden Seiten gleichmäßig gekrümmt sind. Außerdem muß die weniger gekrümmte Fläche, bei planconvexen Linsen also die platte Oberfläche, dem Objecte zugekehrt sein.

2) Hat die Linse eine zu große Oeffnung, so muß diese verkleinert werden, weil die sphärische Aberration immer mehr zunimmt, je näher dem Linsenrande die Strahlen durchgehen. Dies läßt sich auf verschiedene Art erreichen. Das älteste und gebräuchlichste Verfahren besteht darin, daß man ein durchbohrtes Plättchen oder ein Diaphragma über der Linse anbringt, wodurch die Randstrahlen abgehalten werden. Das Diaphragma kann auch nach Wollaston zwischen zwei mit ihren platten Flächen einander zugekehrten planconvexen Linsen

liegen (Taf. XXIII, Fig. 4), die zusammen eine biconvexe Linse darstellen. Das nämliche Ziel würde erreicht werden, wenn man (Fig. 5) nach Brewster's Vorschlage in eine Glaskugel in der Richtung ihres größten Umfanges eine tiefe ringförmige Grube schleift. Ferner sind hier die verschiedenen Arten von Cylinderlupen zu nennen, zu denen auch die Vogelaugenlinsen (Fig. 6) und die Stanhope'schen Lupen (Fig. 7) gehören, welche letzteren außerdem noch so eingerichtet sind, daß der Brennpunkt der einen gewölbten Oberfläche auf die gegenüber befindliche Fläche fällt, deren Krümmung zugleich dazu dient, alle Theile des Gesichtsfeldes in gleiche Entfernung vom optischen Mittelpunkte zu bringen.

Alle diese Linsen haben den Zweck, die Randstrahlen nicht in's Auge gelangen zu lassen, was entweder durch ein zwischenliegendes Diaphragma erreicht wird, oder dadurch, daß ein Theil der Kugel, wovon die Oberflächen der Linse Segmente darstellen, weggenommen wird. Später wird genauer über diese verschiedenen Linsen und deren relative Zweckmäßigkeit gehandelt werden. Es genüge hier zu bemerken, daß bei allen wegen der starken biconvexen Gestalt die sphärische Aberration nur unvollkommen beseitigt werden kann, daß sie aber dafür den Vortheil eines ausgebreiteten Gesichtsfeldes bieten, weshalb auch die erste Sorte dieser Linsen von Wollaston den Namen der periskopischen erhalten hat.

3) Eines dritten Mittels, welches unter allen am meisten zum Ziele führen würde, wenn es practisch sich anwenden ließe, sei hier nur im Vorbeigehen gedacht. Dieses Mittel ist darin gegeben, daß man den Linsen hyperbolische Krümmungen ertheilt statt der gewöhnlichen sphärisch gekrümmten Oberflächen. Bis jetzt ist es aber, ungeachtet mehrfacher Versuche, noch nicht gelungen, geschliffenen Linsen eine andere als die sphärische Form zu verschaffen, und es würde dieser Punkt sogar ganz mit Stillschweigen übergangen werden, wenn es nicht durch einen glücklichen Zufall wirklich geschehen könnte.

daß geschmolzene Glaskügelchen eine hyperbolische Krümmung bekommen. So wenigstens erscheint die Sache erklärlich, daß man unter einer größeren Menge solcher Glaskügelchen immer einige antreffen wird, die durch Helligkeit und Schärfe der erzeugten Bilder geschliffene Linsen, deren vergrößernde Kraft gleich groß ist, auffallend übertreffen.

4) Indem man Linsen aus Substanzen anfertigt, die ein stärkeres Brechungsvermögen haben als Glas, kann man eine stärkere Vergrößerung erreichen bei gleichbleibender Aberration. Die Brennweite gewöhnlicher Glaslinsen verhält sich zu jener von Saphir, — Granat, und Diamantlinsen wie 1 : 0,63, 1 : 0,62 und 1 : 0,35. Da nun die vergrößernde Kraft in gleichem Maße zunimmt, als die Brennweite sich verkürzt, so wird z. B. eine Diamantlinse fast dreimal so stark vergrößern, als eine Glaslinse von gleicher Gestalt und mit der nämlichen sphärischen Aberration. Der relative Werth einer Glaslinse und einer Diamantlinse wird durch (Taf. XXIII, Fig. 8) erläutert. D ist der halbe Durchmesser einer Diamantlinse, G der halbe Durchmesser einer Glaslinse. Der Hauptbrennpunkt beider Linsen liegt in F. Der Randstrahl der Diamantlinse schneidet die Axe in d, der Randstrahl der Glaslinse schneidet sich in g. Für die Diamantlinse ist also die Länge der Aberration dF, für die Glaslinse g F.

Dazu kommt noch, daß das Dispersionsvermögen des Diamanten jenem von Kronglas fast gleichkommt.

Deshalb ist bei einer Diamantlinse von gleicher Oeffnung und der nämlichen vergrößernden Kraft nicht allein die sphärische Aberration viel unbedeutender als bei einer Glaslinse, sondern eben so auch die chromatische Aberration.

Die nämlichen Vorzüge, wenngleich in minderem Maße, besitzen auch die Linsen aus Granat, Saphir und anderen Edelsteinen. Sind nun aber auch diese Vorzüge solcher Linsen unverkennbar, so ist doch nicht anzunehmen, daß sie die größen mit ihrer Anfertigung ver-

bundenen Mühen aufwiegen und daß sie den hohen Preis belohnen dürften, den sie mehr noch wegen der schwierigen Herstellung als wegen der Kostbarkeit des Materials haben würden. Diese Schwierigkeiten rühren besonders davon her, daß jenen Edelsteinen (mit Ausnahme des Granats, bei dem jedoch die Farbe hinderlich ist) eine doppelte Brechung zukommt, und daß demnach nur solche daraus verfertigte Linsen brauchbar sind, deren Axe mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfällt, eine Bedingung, die sich nur mit großer Mühe auf vollkommene Weise erfüllen läßt. Da man nun jetzt am applanatisch zusammengesetzten Mikroskope ein Instrument besitzt, daß in allen den Fällen, wo Edelsteinlinsen wirkliche Vortheile würden bringen können, diesen Zweck wenigstens gleich gut erfüllt, so darf man die Bestrebungen, das einfache Mikroskop durch solche Linsen zu verbessern, bereits als dem Gebiete der Geschichte angehörig ansehen. Einige Besonderheiten darüber werden deshalb hier nicht Erwähnung finden.

5) Die Vergrößerung läßt sich auch noch verstärken, ohne daß die sphärische Aberation in gleichem Verhältnisse zunimmt, wenn man nicht eine einzelne Linse gebraucht, sondern zwei, drei oder mehr Linsen zu einem Systeme vereinigt, so daß sie zusammen einer stärker gekrümmten Linse entsprechen. Solche Vereinigungen führen den Namen Doublet (Doppellinse), Triplet u. s. w.

§. 180.

Schließlich sei noch einer von Brücke construirten sehr practischen Arbeitslupe Erwähnung gethan. Dieselbe ist cylindrisch geformt, hat 90 Millim. Länge und 40 Millim. Durchmesser. Der Objectabstand beträgt für das Normalauge 75 Millim., also die Entfernung des Auges von dem zu untersuchenden Gegenstande 165 Millim. Mißt man bei dieser Entfernung die Vergrößerung, indem man das Bild des bewaffneten und das

des unbewaffneten Auges im Sehfelde über einander fallen läßt, so ergiebt sie sich = 5; auf den gewöhnlichen Abstand von 8 Pariser Zoll berechnet, ist sie 6,6. Dabei beträgt der Durchmesser des Sehfeldes 14 Millim., oder vom vordern Knotenpunkte des Auges als Centrum an gerechnet im Winkelwerth 4° 43′. Das Instrument besteht aus einem Paar von achromatischen Sammellinsen, welche dem aplanatischen Oculare eines großen zusammengesetzten Mikroskopes von Plössel entnommen sind und als Objectiv dienen, während das Ocular durch ein gewöhnliches Hohlglas gebildet wird, wie solche zu den Ocularen der Operngucker verwendet werden. Es ist klar, daß dasselbe ganz auf demselben Principe beruht, wie das Gallilei'sche Fernrohr. Das zusammengesetzte Mikroskop ist ein astronomisches Fernrohr, dessen Objectiv eine sehr kurze Brennweite hat; giebt man dem Objectiv des Gallilei'schen Fernrohrs eine sehr kurze Brennweite, so erhält man die vorbeschriebene Arbeitslupe. Der wesentliche Vorzug derselben vor den gewöhnlichen Lupen liegt in ihrem großen Objectabstande. Professor Brücke construirte sie, um die angestrengte Stellung bei feineren anatomischen Arbeiten zu vermeiden und um kleine Gegenstände in der Tiefe von Flüssigkeiten aufzusuchen, sie leistet aber auch als Lupe für Augenärzte vortreffliche Dienste, indem hier nicht, wie dieß bei den gewöhnlichen Augenlupen der Fall ist, der Kopf des Beobachters das zu untersuchende Auge beschattet. Ebenso eignet sie sich zur Untersuchung von Exanthemen und anderen Dingen, bei denen es nicht eben angenehm ist, sich dem zu untersuchenden Gegenstande auf's Äußerste zu nähern. Man kann auch das Instrument so einrichten, daß das Ocular wie beim Fernrohr vom Objectiv entfernt und demselben wieder genähert werden. Zieht man das Ocular aus, so wird die Vergrößerung stärker, dagegen aber nimmt der Abstand des Objectivs vom Object und die Größe des Sehfeldes ab; schiebt man das Ocular hinein, so findet das Umgekehrte statt.

Wenn die Lupe zu Zergliederungen oder zu anderen feinen Handarbeiten benutzt wird, so ist es erforderlich, sie an einem passenden Gestelle zu befestigen, so daß die Linse in gehöriger Entfernung vom Objecte festgestellt werden kann. Man hat mehrfache derartige Gestelle.

§. 181.

Sehr einfach ist die Einrichtung, welche nach Quekett von Lister angegeben und von Smith und Beck in London ausgeführt wurde (Taf. XXIII, Fig. 9). Eine gewöhnliche Sacklupe hat am hintern Ende bei c eine vierseitige Oeffnung, in welche der vierseitige rechtwinkelig umgebogene Stab d paßt, dieser sitzt an einer kleinen Hülse, die an der Stange a auf- und abgleiten und mittelst der Klemmschraube b festgestellt werden kann. Das Fußgestell ist solides Messing. Uebrigens sind schon seit vielen Jahren Lupenträger in Gebrauch gewesen, die mehr oder weniger Aehnlichkeit mit dieser Einrichtung hatten.

Noch brauchbarer, aber auch zusammengesetzter und theurer, ist der Lupenträger von Roß, welcher nach Quekett in Taf. XXIII, Fig. 10 dargestellt ist. Er hat ein rundes $1\frac{1}{2}$ engl. Zoll messendes Fußstück mit einem kurzen Rohre a, indem sich ein zweites Rohr b auf- und niederschieben läßt. Dasselbe hat oben ein Schraubengelenk c, woran die vierseitige Hülse d befestigt ist. In dieser bewegt sich der vierseitige Stab e, der an dem einen Ende ein zweites Gelenk g und den Ring h hat, bestimmt für Linsen, welche in Röhrchen wie A gefaßt sind. Durch das Gelenk c läßt sich der vierseitige Stab auf- und abbewegen, so daß die Linse in die gehörige Entfernung vom Objecte kommen kann, und da der Stab e in der Hülse d sich bewegt, so kann die Entfernung zwischen Linse und Stativ vergrößert oder vermindert werden. Das Gelenk g dient dazu, die

Linse horizontal oder auch wohl unter einen Winkel zu stellen, unter welchem man das Object zu sehen wünscht. Wird die Röhre b mehr oder weniger ausgezogen, so kann man die Entfernung zwischen dem Tische und dem gegliederten Arme abändern. In dem Preiscourante von Roß steht dieser Lupenträger mit zwei Linsen mit 1 Pfd. Sterl. 14 Schilling.

Weit einfacher und fast eben so zweckmäßig ist das Stativ von Strauß-Durckheim, welches Taf. XXIII, Fig. 11 dargestellt ist. Auf einer länglich-vierseitigen Platte a aus Metall oder aus Holz, aber mit Blei eingelegt, stehen zwei messingene Stäbe b und c von ungleicher Länge. Der Arm d, der mit zwei Gelenken y y versehen ist, trägt die Lupe. Der ungegliederte Theil des Armes ist bei e durch ein Charnier mit einem Ringe verbunden, der sich am Stabe b bewegt, und bei i geht der Arm durch einen zweiten Ring, welcher durch ein Charnier f mit dem umgebogenen Arme c in Verbindung steht. Somit wirkt der Arm d als eine Art Hebel, und die Lupe kann in jede beliebige Höhe gebracht werden.

Auch die von Mohl empfohlene Einrichtung (Tafel XXIII, Fig. 12) ist in den meisten Beziehungen ganz gut, und man kann auch damit bei durchfallendem Lichte arbeiten. Es ist ein Kästchen a b von 15 bis 20 Centimeter Länge auf 8 Centimeter Breite und Höhe, welches an der einen dem Fenster zugekehrten Seite offen ist und einen flachen Spiegel enthält, der sich um eine Axe dreht und durch einen rechterseits hervorragenden Knopf bewegt werden kann; oben aber, bei f g, hat dasselbe eine Oeffnung, die durch eine Glasplatte verschlossen werden kann. Ein mit zwei Charnieren d c versehener Arm, der an jenem Kästchen angeschraubt ist, trägt die Lupe e.

§. 182. Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop.

Die Principien, auf welchen die Construction aller, wenn auch in ihrer sonstigen Einrichtung noch so sehr abweichenden Mikroskope beruht, sind folgende:

1) Die Gegenstände, welche man dem Versuche unterwerfen will, befinden sich nahe bei einer Sammellinse von kurzer Brennweite, und zwar etwas jenseits des Brennpunktes. Diese Linse, sie mag nun einfach oder zusammengesetzt, achromatisch sein oder nicht, wird die Objectivlinse oder das Objectiv des Mikroskops genannt.

2) Die vergrößerten Sammelbilder, welche von den Objecten durch das Objectiv entworfen werden, werden durch eine Convexlinse betrachtet, welche hier als Lupe dient; diese zweite Linse, welche ebenfalls einfach oder zusammengesetzt, achromatisch oder nicht achromatisch sein kann, wird das Ocularglas oder das Ocular des Mikroskops genannt.

So ist denn jedes dioptrische Mikroskop im Wesentlichen aus einem Objectiv und einem Ocular zusammengesetzt, und die Vergrößerung des Mikroskops ist das Product der Vergrößerungen, welche jedes dieser Gläser hervorbringt. Wenn z. B. das Objectiv im Durchmesser 5mal, das Ocular aber 10mal vergrößerte, so würde ein solches Mikroskop den Durchmesser der Gegenstände 50mal, die Oberfläche also 2500mal vergrößern. Eine 300fache Vergrößerung des Durchmessers würde man erhalten, wenn die Vergrößerungen des Objectivs und des Oculars respective 30 und 10, oder 25 und 12, oder 20 und 15 wären.

Taf. XXIV, Fig. 1 erläutert die Wirkung des zusammengesetzten Mikroskops in seiner einfachsten Form. Von dem kleinen Gegenstande s r, der nahe beim Brennpunkt der kleinen Linse a b steht, wird durch dieselbe das verkehrte, vergrößerte Sammelbild RS erzeugt, welches, durch die Lupe c d betrachtet, in R′S′ erscheint.

Unsere Figur zeigt, wie das von der Spitze des Pfeils r ausgehende Strahlenbündel seinen Weg durch das Instrument nimmt. Die von r aus divergirend auf die Linse a b treffenden Strahlen divergiren nach ihrem Austritte aus der Linse c d so, als ob sie von R' herkämen.

Wenn man durch die Lupe c d das Bild R S betrachtet, so findet doch nicht ganz dasselbe Verhältniß statt, als ob man durch c d einen in R S befindlichen Gegenstand betrachtete. Ein jeder Punkt eines solchen Gegenstandes würde Lichtstrahlen nach allen Seiten aussenden, von R aus würden also Strahlen sowohl auf die Mitte der Linse, als auch an den Rand c fallen; in unserem Falle ist es anders, von R aus fällt nur ein schmales Strahlenbündel auf das linke Ende der Ocularlinse, von welchem in unserer Figur die Grenzstrahlen verzeichnet sind. Würde also der Rand der Linse c d mit einer Blendung belegt, welche nur die mittlere Hälfte derselben frei ließ, so würde gar keiner, der durch den Punkt R gehenden Strahlen durch die Linse c d gehen, man würde durch sie die Spitze des Pfeils nicht mehr sehen können.

Es geht aus dieser Betrachtung hervor, daß das Gesichtsfeld des Mikroskops von dem Durchmesser des Oculars abhängt, und zwar wird es durch den Winkel gemessen, unter welchem das Ocular c d von der Mitte des Objects aus erscheint.

Um das ganze Gesichtsfeld zu übersehen, muß man das Auge etwas vom Ocular entfernen, und zwar muß man es an die Stelle der Axe bringen, an welcher die durch den Rand des Oculars austretenden Strahlenbündel diese Axe schneiden. —

§. 183. Kurze Uebersicht über die ältern Mikroskope.

Wir übergehen die ältesten und älteren Constructionen der zusammengesetzten Mikroskope, da sie jetzt nur

einen historischen Werth besitzen und in der Praxis nicht mehr vorkommen. Das zuerst erwähnte Instrument der Gebrüder Hans und Zacharias Janssen zeigte schon die Form, die von den spätern Verfertigern, namentlich Drebbes und Fontana nachgeahmt wurde, die sich, wenn auch nur ganz im Allgemeinen, aber überhaupt erhalten hat. Somit wichen die von Galilei und später von Robert Hooke (1665) veröffentlichten Mikroskopformen auch nicht sehr ab, indem das vom letztern aufgestellte Instrument aus 4 Röhren und 3 Gläsern, einem kleinen Objectivglase, einem Mittelglase und einem Oculare bestand. Das Object wurde vermittelst einer Lampe, die ihre Strahlen durch eine mit Wasser gefüllte Kugel sandte, erleuchtet. Divini's Mikroskop enthielt außer der Objectivlinse zwei planconvexe Oculare, die sich mit der Mitte ihrer gewölbten Fläche berührten. Aehnlich waren die von seinen Landsleuten und Zeitgenossen Campagni in Bologna und Salvator construirten Instrumente. Hatten schon Lippershey und Maria de Reita Fernröhre construirt, durch die man, da sie aus zwei Tuben bestanden, mit zwei Augen sehen konnte, so lehrte Cherubin zuerst diese Construction auf das Mikroskop anwenden und verfertigte zwei kegelförmig zulaufende Röhren, die in einem vierseitigen Behälter unten eingeschlossen waren, und von denen jedes Rohr drei biconvexe Linsen enthielt. — Sturm setzte dann eine planconvexe und eine biconvexe Linse zu einem Objectivglase zusammen und ebenso zwei biconvexe Linsen von ungleicher Krümmung und erreichte dadurch eine stärkere Vergrößerung und eine größere Schärfe.

Grindl von Ach vereinigte paarweise sechs mit den convexen Flächen einander zugekehrte planconvexe Gläser und machte also in der Construction einen bedeutenden Fortschritt, der leider nicht genug gewürdigt wurde. — Gregory und Christian Huygens stellten die Gesetze der sphärischen Aberration fest und Anton Fortona machte die ersten Beobachtungen mit

durchfallendem Lichte, die nun genauer waren als die bis dahin mit reflectirten Lichte angestellte. —

Immer mehr mechanische Verbesserungen wurden vornehmlich auch an Gestellen bekannt gemacht, namentlich durch Campana, Celi und Bonannus, die auch in den optischen Theilen Veränderungen einführten, so daß z. B. das Mikroskop des letztern aus drei Mikroskopröhren mit je drei biconvexen Linsen bestand. Aeußerlich sehr verziert waren Jublots Mikroskope und wetteiferten mit Marshall's (in England) Instrumenten, die indeß vor den erstern den Vorzug hatten, daß sie eine veränderte Vergrößerung durch einen Wechsel der Objectivlinse zuließen. Der erste, welcher nun ein mit einem Beleuchtungsspiegel versehenes Mikroskop aufstellte, ist Hertel in Halle, und nun reihen sich an diese Auffindung eine große Zahl von zusammengesetzten Mikroskopen, wie die von Scarlet, Cuff, Martin, Jones und andere, die auch alle darin übereinstimmen, daß die Längendimension zwischen Objectiv und Object sei es durch Einschalten von Röhrchen oder Zusammenziehen durch Schrauben u. s. w. verlängert und verkürzt werden kann. — Auf den Mechanismus des Mikroskops wirkten nun die theoretischen Beobachtungen Euler's ein und wir sehen von dieser Zeit an durch Dellebarre, Hoffman, Fiedemann, der 2 Gläser und noch ein Zwischenglas dem Oculare gab und eine Objectivlinse von 2,2 Millim. construirten, durch Wagener, Elkner, Junker und Weickert, durch Hen und Canzius bis zu More Hall immer neue und vortheilhafte Verbesserungen auftreten, so daß der letztere zuerst achromatische Linsen aus Kron- und Flintglas zusammensetzte, die später erst durch Hermann und Jan van Deyl und namentlich auch durch Dollond im Großen verwerthet wurden. Da nun diese ältern Constructionen für den Practiker wenig Werth haben, so verweilen wir nun desto länger bei den jetzt gebräuchlichen und namentlich den achromatischen Instrumenten. —

§. 184.

Wir folgen im Allgemeinen dem klassischen Werke von Harting auf das wir speciell noch verweisen, und betrachten genauer das zusammengesetzte Mikroskop.

Gleich außerhalb (Taf. XXIV, Fig. 2) des Brennpunktes der Linse C D befindet sich ein Object a b, von welchem Lichtkegel ausgehen; diese erzeugen auf der anderen Seite der Linse ein verkehrtes und vergrößertes Bild b′ a′. Es ist ein in gekrümmter Fläche liegendes Luftbild, das gleich gut wie in einem Bildmikroskope sichtbar sein würde, wenn man es an dieser Stelle mittelst eines Schirmes auffinge. Um nun dieses Bild noch stärker vergrößert wahrzunehmen, betrachtet man dasselbe durch ein einfaches Mikroskop, welches hier durch die Linse A B dargestellt wird und mittelst deren die in's Auge eintretenden Strahlen jenen Grad von Divergenz erlangen, den sie besitzen würden, wenn das Object in der richtigen Deutlichkeitsentfernung v z′ sich befände. Die dem Objecte zugekehrte Linse nennt man Objectivglas, Objectivlinse oder einfach das Objectiv, jene Linse aber, vor welche das Auge gehalten wird, heißt Augenglas oder Ocular.

Aus Fig. 2 ist ferner zu entnehmen, daß, wenn der Durchmesser des Objects ziemlich groß ist, sein Bild dann nicht mehr mit dem Ocular übersehen werden kann. Dies folgt aus dem, was über das Gesichtsfeld des einfachen Mikroskops gesagt worden ist. Nur die Strahlen des zwischen c und d enthaltenen Bildabschnitts, welcher dem Stücke d′c′ des Objects entspricht, erreichen die Linse und das Auge; die Strahlen dagegen, welche won den Strecken c b′ und d a′ des Bildes kommen, gehen links und rechts an den Rändern der Linse vorbei. Verlängert man nun die durch das Ocular gebrochenen Strahlen, welche von den Punkten c, z und d des Bildes stammten, bis sie auf der andern

Seite der Linse AB wiederum zusammentreffen, dann werden diese zusammen mit den übrigen Vereinigungspunkten dort ein vergrößertes Scheinbild c″ z′ d″ des Bildabschnittes c z d geben; dieses Scheinbild liegt in einer gekrümmten Ebene, deren Krümmung stärker ist als jene des wahren Bildes b′a′. Es folgt dies daraus, daß schon ein in gerader Ebene gelegenes Object, wie früher dargethan, ein Scheinbild mit aufwärts gerichteter Krümmung giebt, wenn es durch eine einzelne Linse betrachtet wird. Da nun hier die Ränder c und d des Bildes noch entfernter vom optischen Mittelpunkte der Linse A B liegen, als wenn das Bild in einer geraden Ebene befindlich ist, so folgt hieraus, daß die Aufwärtskrümmung in diesem Falle noch bedeutender sein muß.

Der Unterschied des Doublets vom zusammengesetzten Mikroskope in dessen einfachster Einrichtung ist daher folgender. Beim Doublet ist der gegenseitige Abstand beider Linsen kürzer als die Entfernung des Vereinigungspunktes der Strahlen der vordern Linse: entsteht dagegen zwischen zwei Linsen ein Bild, welches an der hinteren oder oberen Linse weit genug entfernt ist, um durch dieselbe vergrößert wahrgenommen werden zu können, so hat man ein zusammengesetztes Mikroskop. Die letztere Bedingung ist aber unerläßlich; denn wenn das Bild zu nahe der vordern Linse sich erzeugt, dann gelangen die Strahlen naher Objecte mit zu starker Divergenz in's Auge, und es entsteht kein Bild auf der Netzhaut ausgenommen von solchen Objecten, die ziemlich entfernt von der vordern Linse sind, d. h. man hat ein Teleskop statt eines Mikroskops. In der That haben beiderlei Instrumente in der Hauptsache ganz die nämliche Zusammensetzung und man kann das Teleskop ganz füglich ein Mikroskop für entfernte Gegenstände nennen. Auch ersieht man hieraus, wie es möglich ist, solche Instrumente, nämlich sogenannte polydynamische Mikroskope, zu verfertigen, die abwechselnd als Mikroskop und als Teleskop dienen können; es bedarf dazu weiter nichts, als daß, während die optische Zusam-

mensetzung ganz unverändert bleibt, die Entfernung zwischen dem Ocular und dem Objectivglase je nach der Entfernung des Objects verändert wird.

Da nun das Bild stets um so weiter hinter der Linse entsteht, je näher das Object dem Hauptbrennpunkte ist, so muß man, wenn das Bild in die gehörige Entfernung vom Augenglase kommen soll, damit die Strahlen den gleichen Grad von Divergenz besitzen, wie jene, welche von Objecten aus der Entfernung der mittleren Sehweite ausgehen, die Entfernung zwischen dem Objectiv- und Ocularglase für nahe Objecte vergrößern, für entfernte dagegen verkürzen.

Es folgt hieraus ferner, daß man es in seiner Gewalt hat, die vergrößernde Kraft eines zusammengesetzten Mikroskops nach Willkür zu verstärken, indem man das Ocular vom Objectivglase entfernt und zugleich das Object näher an die Linse bringt, so daß das Bild stets in gleicher Entfernung vom Ocular bleibt. Dadurch nämlich wird das Bild immer größer und größer, ohne daß das Vergrößerungsvermögen des Oculars eine Veränderung erleidet, und wenn man daher die Stelle, wo sich das Bild vor dem Ocular formt, weiter entfernt vom Objectivglase rückt, so wird auch die vergrößernde Kraft des Mikroskops in gleichem Verhältnisse zunehmen.

Bei der Berechnung der vergrößernden Kraft eines zusammengesetzten Mikroskops von einfachster Einrichtung sind demnach zu berücksichtigen:

a) Die Brennweite des Objectivglases, weil davon die Stelle und die Größe des Luftbildes abhängig ist. Das Bild ist bei einem wahren Mikroskope (mit Ausschluß der soeben mit einem Worte erwähnten polydynamischen oder teleskopischen Mikroskope) stets größer als das Object, und letzteres befindet sich also immer zwischen dem Hauptbrennpunkte und der doppelten Brennweite der Linse.

b) Die Brennweite des Oculars.

c) Die mittlere Sehweite des Auges. Aus b und c läßt sich auf die früher angegebene Weise zunächst die

Stelle berechnen, welche das Luftbild einnehmen muß, um vergrößert und deutlich durch das Ocular wahrgenommen werden zu können, und auch die Vergrößerung dieses Bildes läßt sich daraus berechnen. Kennt man nun

d) die Distanz beider Linsen, dann weiß man auch, wie entfernt das Bild von der vordern Linse ist, und mithin kennt man auch dessen Größe. Diese letztere Entfernung nämlich hat man, wenn man von der Distanz der beiden Linsen die Entfernung des Bildes vom Ocular subtrahirt, die Größe des Bildes aber erhält man, wenn man die Differenz zwischen der Entfernung des Bildes und der Brennweite der Linse mit der Brennweite dividirt und den Quotienten mit dem Durchmesser des Objects multiplicirt.

Die Gesammtvergrößerung erhält man dann, wenn man die Vergrößerung des Bildes mit jener durch das Ocular erreichten Vergrößerung multiplicirt.

Erläutern wir dies wieder durch ein Beispiel. Man wünscht die Vergrößerung eines Objectes zu berechnen, wenn folgende Größenverhältnisse vorhanden sind:

Durchmesser des Objects	0,5	Millim.
Brennweite des Objectivglases . .	6	„
Brennweite des Oculars	30	„
Distanz der beiden Linsen . . .	200	„
Mittlere Sehweite des Auges A .	162	„

Es muß, da $m = p - \frac{p^2}{v + p}$, hier die Entfernung des Bildes vom Okular $30 - \frac{900}{162 + 30} = 25,3$ Millim. sein, und mithin liegt das Bild $200 - 25,3 = 174,7$ Millim. hinter dem Objectivglase. Bei dieser Entfernung ist das Bild $\frac{174,7 - 6}{6} \cdot 0,5 = 14,05$ Millim. groß, und die Vergrößerung ist mithin eine 28,1 fache.

Das Ocular vergrößert $\frac{162 + 30}{30} = 6,4$ Mal und mithin ist die Gesammtvergrößerung $28,1 \cdot 6,4 =$

179,84 Mal. Ein Object von 0,5 Millim. Durchmesser, durch ein solches Mikroskop angeschaut, würde also für einen, der die angegebene mittlere Sehweite hat, einen Durchmesser von 89,92 Millim. haben.

Aendert sich nun aber die mittlere Sehweite, so werden auch alle diese Zahlen andere. Führen wir z. B. die nämliche Berechnung für das Auge von B mit der mittleren Sehweite von 372 Millim. aus, so erhalten wir für die Entfernung des Bildes vom Ocular 27,8 Millim. für die Entfernung zwischen Bild und Objectivlinse 172,2 Millim., für die Vergrößerung des Bildes die Zahl 27,7 und für dessen Durchmesser 13,85 Millim. also etwas geringern Werthe als in vorigen Falle. Dagegen vergrößert das Ocular für B, 13,4 Mal, und dadurch erreicht die Zahl der Gesammtvergrößerung den hohen Werth von 371,18.

Bis jetzt haben wir der Einfachheit halber angenommen, es werde das Auge dicht ans Ocular angehalten. Das ist nun aber in der Wirklichkeit niemals der Fall. Das Auge oder richtiger die Pupille muß dahin zu liegen kommen, wo alle aus dem Mikroskope heraustretenden Strahlen sich im kleinsten Raume vereinigen, damit sie alle von der Pupille können aufgefangen werden. Diese Stelle ist demnach jene, wo das Bild des als Object angenommenen Objectivs entsteht, während das Augenglas die brechende Linse ist. Deshalb muß auch die Distanz zwischen der Pupille und dem Ocular stets größer sein, als die Brennweite des letzteren. Nach dem früher Mitgetheilten muß aber damit auch eine Abnahme der Vergrößerung verbunden sein, und somit bedürfen die berechneten Werthe einer Correction. In dem angenommenen Falle beträgt die Distanz zwischen Object und Ocular 200 Millim., die Brennweite des Oculars ist 30 Mill., mithin liegt die Pupille $\frac{200 \cdot 30}{200 - 30} = 35{,}3$ Millim. hinter dem Ocular. Für eine mittlere Sehweite von 162 Millim. ist daher die Entfernung des scheinbaren Bildes vom Ocu-

lar 162 — 35,3 = 126,7 Millim. Das Luftbild (wahre Bild), welches durch das Objectiv erzeugt wird, ist dann $30 - \frac{900}{126{,}7 + 30} = 24{,}3$ Millim. vom Ocular entfernt, und der Abstand dieses Luftbildes vom Objectiv ist demnach 200 — 24,3 = 175,7 Millim. Berechnet man nach diesen Daten die Vergrößerung, so erhält man für das Objectiv eine 28,3 fache, für das Ocular eine 5,2 fache. Die Gesammtvergrößerung ist also 147,16 und nicht 179,84 welche letztere Zahl erhalten wird, wenn man die Stellung der Pupille außer Acht läßt.

Die mittlere Sehweite des Auges ist auch nicht ohne Einfluß auf die Entfernung, in welcher sich das Object von dem Objective befinden muß, wenn das Bild an der gehörigen Stelle vor dem Ocular entstehen soll. Wenn nämlich die Distanz beider Linsen unverändert bleibt, dann wird der Kurzsichtige, dessen Auge eine stärkere Annäherung des Bildes zum Ocular verlangt, dafür sorgen müssen, daß der größeren Entfernung des Luftbildes vom Objectiv eine geringere Distanz zwischen Object und Objectiv entspricht. Diese letztere Distanz wird durch einen Quotienten ausgedrückt, worin das Product der Bildentfernung und der Brennweite durch deren Differenz dividirt wird; für A beträgt sie im vorstehenden Falle

$\frac{174{,}7 \cdot 6}{174{,}7 - 6} \doteq 6{,}214$ Millim., für B aber $\frac{172{,}2 \cdot 6}{172{,}2 - 6}$ = 6,216 Millim.

Hat eine Objectivlinse nur 6 Millim. Brennweite oder selbst noch weniger, dann ist der Unterschied ($\frac{1}{500}$ Millim.) freilich nur gering und nur von geringem Einfluß auf das Deutlichsehen solcher Personen, deren Augen eine verschiedene Sehweite besitzen. Auch lehrt die Erfahrung, daß bei zunehmender Vergrößerung durch Anwendung stärkerer Objective die Stellung des zusammengesetzten Mikroskops für verschiedene Augen weniger

verändert zu werden braucht, während dieses doch bei schwächeren Vergrößerungen sehr nöthig ist. Vertauschen wir z. B. das Objectiv von 6 Millim. Brennweite mit einem andern, welches 20 Millim. Brennweite hat, dann muß die Entfernung des Objects von der Objectivlinse 22,585 Millim. für A und 22,628 Millim. für B betragen. Hier beträgt die Differenz etwa $\frac{1}{23}$ Millim., was schon ganz merklich ist.

§. 185. Unvollkommenheiten der Mikroskope und Mittel zur Abhülfe.

Im Bisherigen ist die Theorie des zusammengesetzten Mikroskops schon in ihren Hauptzügen angegeben worden. Doch fehlt noch viel daran, daß ein Instrument von solcher meist einfacher Einrichtung sich zu genauen und sorgfältigen Beobachtungen eignen sollte. Seine Unvollkommenheiten lassen sich auf folgende drei Punkte zurückführen:

a) Sein Gesichtsfeld ist sehr klein, wie schon aus Fig. 2 zu entnehmen ist, wo nur ein Theil der Strahlen, welche vom Objecte auf das Objectiv treffen, das Auge erreicht.

b) Die Ebene, in welcher das Scheinbild liegt, ist stark gekrümmt, und die Gestalt des Bildes stimmt daher nicht mit jener des Objects.

c) Ein solches aus zwei Linsen bestehendes Mikroskop theilt in hohem Grade alle die Mängel, welche eine Folge der sphärischen sowohl als der chromatischen Aberration sind.

Betrachten wir daher jetzt die Mittel, welche angewendet werden, um das zusammengesetzte Mikroskop von diesen Unvollkommenheiten zu befreien und wodurch es schon einen Grad von Vollkommenheit erreicht hat, den man vor mehreren Jahren kaum noch hätte erwarten dürfen.

Unter diesen Mitteln kommen auch solche vor, die schon seit langer Zeit im Gebrauche gewesen sind. Dazu

gehört das Einschieben einer dritten Linse (Taf. **XXIV**, Fig. 3) in solcher Entfernung von den beiden andern, daß das Bild des Objects zwischen dieser eingeschobenen Linse und dem Ocular entsteht. Diese eingeschobene Linse bewährt sich in mehr denn einer Hinsicht nützlich.

Zunächst vereinigt sie die Strahlen wieder, welche, wie aus der Figur zu entnehmen ist, vom Objecte ausgehen. Ohne die Linse E F würde das Bild in b′ a′ sich gebildet haben; durch diese Linse hingegen werden die Strahlenkegel C b′ D, D a′ C und alle übrigen, welche zur Formation des Bildes beitragen, nach innen gebogen, so daß ein anderes Bild b″ a″ entsteht. Dasselbe ist zwar kleiner, als b′ a′ sein würde, allein es kann vollständig durch das Ocular A B übersehen werden, oder was das Nämliche ist, das ganze Object a b liegt nun im Gesichtsfelde, nicht blos ein Theil desselben, wie d′ c′ in Fig. 2. Das Mikroskop wirkt daher weniger vergrößernd, nämlich um so viel, als das Bild b″ a″ kleiner ist als b′ a′, das Gesichtsfeld aber ist größer geworden in Folge der Sammelung der Strahlen, wovon ein Theil unbenutzt verloren ging. Diesem zumeist in's Auge fallenden Nutzen verdankt diese eingeschobene Linse den Namen Sammelglas oder Collectivglas.

Sodann nützt das eingeschobene Glas dadurch, daß die Lichtstärke des Bildes zunimmt. Alle Strahlen nämlich, die zur Bildung von b′ a′ gedient haben würden, werden in dem kleineren Bilde b″ a″ vereinigt, und da die Lichtstärke im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Durchmesser der Bilder zunimmt, so wird das Bild b″ a″, wenn es z. B. nur halb so groß wäre wie b′ a′, viermal heller sein, wenn wir zunächst von dem geringen Verluste in Folge der Reflexion und der Absorption absehen.

Ferner wirkt das Collectivglas sehr vortheilhaft dadurch, daß es die Krümmung des scheinbaren Bildes beseitigt oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, das Gesichtsfeld ebnet. Der Grund dieser Wirkung wird ersichtlich, wenn wir im Auge behalten, daß die Distanz

zwischen dem mittleren Theile der Linse E F und der Mitte des Objectivs C D kleiner ist, als zwischen den Rändern beider Linsen. Die Strahlen, welche von dem in der optischen Axe gelegenen Punkte c ausgehen, treffen daher früher auf die Oberfläche der Linse E F als jene, welche von den Punkten a und b am Umfange des Objects ausgehen. Die nothwendige Folge hiervon ist, daß jene in der Nähe der Axe durchtretenden Strahlen sich früher wieder vereinigen werden, nämlich in z″, als jene Strahlen, welche in mehr schiefer Richtung auf die Linsenoberfläche fallen, und deren äußerste Vereinigungspunkte deshalb etwas entfernter in b″ und a″ liegen werden. Somit hat das zweite Luftbild b″ a″ die entgegengesetzte Krümmung von dem ersten b′ a′, und da nun hierdurch die Ränder b″ und a″ des *zweiten* Luftbildes dem optischen Mittelpunkte des Oculars A B näher sind, so muß nach dem oben Entwickelten, wenn die Krümmungen des Collectivs und des Oculars in einem gewissen Verhältniß zueinander stehen, jenes durch das Ocular wahrgenommene Scheinbild b‴ a‴ nicht gebogen, sondern in gerader Ebene erscheinen.

Einen zwar weniger in's Auge fallenden, aber nicht weniger erheblichen Dienst leistet dann das Collectivglas dadurch, daß es beide Aberrationen verbessert. Daß eine solche Verbesserung statthaben muß, läßt sich in gleicher Weise darthun, als es früher für die Verbindung zweier Linsen zu einem Doublet bereits geschehen ist. Zwischen dem Collectivglase und dem Ocular findet auch eine Kreuzung der Lichtstrahlen statt, und aus dem dort Angeführten entnimmt man deutlich, daß, da die violetten Strahlen immer auf stärker brechende Theile des Oculars treffen, die verschiedenfarbigen Strahlen sich immer mehr nähern müssen, so daß sie in's Auge in einer solchen relativen Richtung hineintreten, die sich dem parallelen Zustande oder dem des weißen Lichtes mehr nähern, als wenn kein Collectivglas vorhanden ist. Dasselbe gilt aber auch von der sphärischen Aberration; auch diese wird verbessert, weil, wie schon aus Fig. 3

zu entnehmen ist, jene Strahlen, welche im Objectivglase **EF** zunächst dem Rande durchgehen, das Ocular **AB** näher der Axe treffen, und umgekehrt. Die Aberrationen beider Linsen wirken demnach im entgegengesetzten Sinne, und bis zu einem gewissen Punkte hin können sie einander beiderseits aufheben.

Die Theorie lehrt, daß diese Verbesserung am vollkommensten ist, wenn das Collectivglas eine dreimal so große Brennweite hat als das Ocular, und wenn ihre wechselseitige Distanz der Verdoppelung der Ocularbrennweite gleichkommt, so daß die Brennweite des Collectivs, die Distanz zwischen Collectiv und Ocular und die Brennweite des Oculars sich wie 3, 2 und 1 zu einander verhalten. Wir werden später sehen, daß in den aplanatischen Mikroskopen diese Entfernungen einige Modificationen erfahren können, entsprechend dem Grade der Verbesserung der Objective.

Da das Einschieben des Collectivglases eine Verkleinerung des Bildes mit sich bringt, so ergiebt es sich von selbst, daß das früher angegebene Verfahren, mittelst dessen man die Vergrößerung eines zusammengesetzten Mikroskops, welches nur aus einem Objectiv und einem einfachen Ocular besteht, ausfindig macht, einer Abänderung bedarf. Man muß nämlich die Brennweite berechnen, für eine einzige Linse, die ebenso wirkt, wie die Vereinigung des Collectivs und Oculars. Kennt man die Brennweite einer solchen äquivalenten Linse, und folglich auch ihre vergrößernde Kraft, dann läßt sich die Gesammtvergrößerung leicht ausfindig machen, wenn man so wie früher die Größe des Luftbildes, welches ohne vorhandenes Collectiv entstanden sein würde, mit dem Vergrößerungswerthe der äquivalenten Linse multiplicirt.

Die Brennweite einer äquivalenten Linse ist $= \frac{p\,p'}{p + p' - d}$, wenn p die Brennweite des Collectivs p' die Brennweite des Oculars und d die Distanz der

beiden Linsen bezeichnet: mit anderen Worten, man multiplicirt die Brennweiten des Collectivs und des Oculars mit einander, und in dieses Product dividirt man mit der Summe beider, weniger die Distanz beider Linsen. Rechnen wir z. B. die Brennweite des Collectivs zu 30 Millim., jene des Oculars zu 10 Millim. und beider Distanz zu 20 Millim., so ist die Brennweite der äquivalenten Linse $\frac{30 \cdot 10}{30 + 10 - 20} = 15$ Millim., und verhält sich zu jener des Oculars wie 3 zu 2. Daraus folgt dann, daß, wenn die Brennweiten und die Distanz der beiden Linsen das hier angenommene Verhältniß haben, wobei die Aberrationen am stärksten verbessert werden, durch das Collectivglas das Bild gerade auf $\frac{2}{3}$ verkleinert wird, also auch das ganze Mikroskop nur $\frac{2}{3}$ jener Vergrößerung gewährt, die es bringen würde, wenn das Collectivglas weggenommen und das Bild nur durch das Ocular betrachtet würde.

Bringt man das Ocular und das Collectiv einander näher, so nimmt die vergrößernde Kraft zu. Wären die obigen Linsen einander bis auf 15 Millim. genähert, dann würde die Brennweite der äquivalenten Linse 12 Millm. betragen. Ist ihre wechselseitige Distanz noch kleiner als die Brennweite des Oculars, dann übertrifft ihre Gesammtwirkung jene des Oculars allein. Bei einer Distanz von 5 Millim., z. B., würde die Brennweite der äquivalenten Linse = 8,6 Millim. sein. Aber in einem solchen Falle liegt das Bild nicht mehr zwischen den beiden Linsen, sondern vor dem Collectivglase, und es ist eigentlich eine andere Einrichtung des Oculars entstanden, wovon später noch näher gesprochen werden soll.

Wenn auch das Einschieben eines Collectivs bereits als eine bedeutende Verbesserung angesehen werden muß, so ergiebt sich doch aus dem, was schon einige Male über die Vorzüge der Linsensysteme vor einzelnen Linsen gesagt worden ist, daß man die Verbesserung noch wei-

ter treiben kann, wenn man statt der einzelnen Linsen passende Combinationen wählt. Jedes der drei zusammengesetzten Gläser kann durch ein System von zwei oder mehr Linsen ersetzt werden, die zusammen wie eine einzige Linse wirken, deren Krümmungen und Abstände aber so eingerichtet sind, daß durch ihre vereinigte Wirkung die Aberrationen vermindert werden. In der That giebt es eine große Anzahl möglicher Combinationen und viele davon sind aus theoretischen Gründen vorgeschlagen oder practisch ausgeführt worden. Es würde uns zu weit führen, wollten wir auf jede einzelne näher eingehen; auch würde es hier nicht einmal ganz passend sein, weil eine Anzahl derselben bereits der Geschichte anheimgefallen ist. Die früheren Bestrebungen einer Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskops und die neueren unterscheiden sich nämlich hauptsächlich darin, daß man früherhin durch die Stellung des Oculars und des Collectivs die Verbesserung zu erreichen suchte, während man jetzt eingesehen hat, daß die Art dieser Stellung auf die genaue Wirkung eines Mikroskops allerdings nicht ohne Einfluß ist, es aber doch weit mehr darauf ankommt, daß schon das erste vergrößerte Bild großentheils frei von Aberrationen ist. Sind die Aberrationen einmal wirksam, so lassen sie sich allerdings wohl durch das Ocular und Collectiv noch etwas verbessern, doch immer nur auf eine sehr beschränkte Weise.

§. 186. Die Construction der Objectivlinse.

Wir wenden uns jetzt zur Betrachtung der optischen Einrichtung der neueren Mikroskope, und hier kommt zunächst die Einrichtung ihres wichtigsten Theils, des Objectivs, in Betracht.

Wir haben früher gesehen, daß durch die Vereinigung einer biconvexen Kronglaslinse mit einer planconcaven oder biconcaven Flintglaslinse eine Doppellinse erhalten wird, durch welche die chromatische sowohl als

sphärische Aberration eine entschiedene Besserung erfahren, wenn beide Linsen in einem passenden Verhältniß zu einander stehen. Wir haben aber auch gesehen, daß aus besonderen Gründen die Aberration durch diese Verbindung niemals vollständig aufgehoben werden kann. Eine solche achromatische Doppellinse verdient deshalb allerdings den Vorzug vor einer gewöhnlichen Linse, selbst vor einer Linse der besten Form, wenn sie für sich allein als Objectiv benutzt wird. Allein die Verbesserung der Aberration wird doch nur auf unvollkommene Weise damit erreicht und außerdem ist es sehr schwer, solche achromatische Doppellinsen mit sehr kurzer Brennweite anzufertigen.

Es giebt ein Mittel, um sowohl die vergrößernde Kraft der achromatischen Doppellinsen zu erhöhen, als auch die Aberrationen noch weiter zu verbessern: man muß sie nämlich zu Systemen vereinigen. Was das erste betrifft, die zunehmende Vergrößerung nämlich durch eine derartige Vereinigung, so gilt hier ganz das Nämliche, was früher über Doublets und Triplets im Allgemeinen gesagt worden ist. Ueber den zweiten Punkt dagegen, die weitere Verbesserung der Aberrationen, muß außer dem dort Angeführten noch etwas Näheres zur Aufklärung mitgetheilt werden.

Weiter stellte es sich heraus, daß jede Doppellinse nur für zwei in der optischen Axe gelegene Punkte wirklich aplanatisch ist, und daß die von allen anderen dazwischen oder außerhalb gelegenen Punkten ausgehenden Strahlenbündel überverbessert oder unterverbessert werden. Denken wir uns nun (Taf. XXIV, Fig. 4), der entferntere aplanatische Brennpunkt der Doppellinse A sei in a, so wird die Linse für das von dort ausgehende Strahlen bündel vollkommen verbessert sein, für jene Strahlen dagegen, welche von höher belegenen Punkten (bis zu dem hier nicht in Betracht kommenden kürzeren aplanatischen Brennpunkte hin) ausgehen, ist sie überverbessert, und für jene von tieferen Punkten ausgehenden Strahlen unterverbessert. Bringt man dann vor

diese Doppellinse eine andere Linse B, und zwar dergestalt, daß die von ihrem kürzesten aplanatischen Brennpunkte b ausgehenden Strahlen an der aufwärts stehenden Fläche bei c mit jenen Strahlen zusammentreffen, welche von dem entfernteren aplanatischen Brennpunkte der Linse A ausgehen, dann heben die entgegengesetzten Aberrationen beider Linsen einander wechselseitig auf, und so geschieht es, daß ihre Vereinigung von Strahlenbündeln, welche von verschiedenen Punkten der optischen Axe ausgehen, immer von Aberrationen frei ist. — Werden die beiden Doppellinsen einander mehr genähert, so daß z. B. A in A′ zu liegen kommt, der entferntere aplanatische Brennpunkt dieser Linse also in a′ sich befindet, dann wird das Strahlenbündel, welches nach dem Durchgange durch die Linse B mit jenem von a′ kommenden Strahlenbündel zusammenfällt, nicht mehr dem kürzeren aplanatischen Brennpunkte b, der Linse B entsprechen, sondern dem ferner liegenden Punkte b′, der zwischen ihren beiden aplanatischen Brennpunkten gelegen ist, und mithin wird das System alsdann überverbessert sein. Werden dagegen die Doppellinsen A und B weiter von einander entfernt, dann entsteht eine Unterverbesserung.

Aus dieser zuerst von Lister gegebenen Erklärung über Verbesserung der Aberration in den aus achromatischen Doppellinsen bestehenden Systemen ersieht man, daß bereits durch die Vereinigung von nur zwei solchen Linsen die Aberration großentheils beseitigt werden kann. Zu stärkeren Vergrößerungen benutzt man aber mit Vortheil Systeme von drei Linsen, die dann wiederum in solche Distanz von einander gebracht werden, daß ihre besonderen Aberrationen gegenseitig einander aufheben. Nach Lister's Erfahrung ist es zweckmäßig, durch die unterste Linse ein etwas unterverbessertes Lichtbündel aufzufangen, daß dann durch die mittlere Linse überverbessert wird. In der Regel wird man daher auch bei Linsensystemen, welche aus den besten Werkstätten kommen, finden, daß die Flintglaslinse der untersten stärkst

vergrößernden Doppellinse planconcav ist, während bei der zweiten, und falls es ein Triplet ist, bei der zweiten und dritten, oder wohl bei der dritten allein, auch die nach außen gekehrte Oberfläche der Flintglaslinse etwas concav ist, so daß die Doppellinse einen convergirenden Meniskus darstellt, an welchem der Einfluß der biconcaven Flintglaslinse etwas überwiegt.

Das Auffinden der gehörigen Entfernung zwischen den Doppellinsen ist, wie bereits bei Gelegenheit ihrer Anfertigung bemerkt wurde, mehr ein Werk der Geduld und des wiederholten, durch practische Erfahrung unterstützten Versuchs, als einer vorgängigen Berechnung, die zwar allerdings einige beachtenswerthe Winke geben kann, niemals aber mit solcher Sicherheit und Genauigkeit auf die Anfertigung mikroskopischer Objective einzuwirken im Stande ist, wie bei teleskopischen Objectiven. Die Ursache davon liegt nicht in einem Mangel verläßlicher theoretischer Gründe, auf welche die Berechnungen sich zu stützen haben, sondern darin, daß bei dem großen Einflusse, den die geringste Verschiedenheit in der Form und im gegenseitigen Abstande der Linsen auf deren Gesammtwirkung äußert, kein Arbeiter ein Linsensystem anzufertigen vermag, welches den im Voraus berechneten Bedingungen vollkommen entspricht. Lister erzählt, daß er eine Kronglaslinse und eine Flintglaslinse hatte, bei denen die gewölbte Oberfläche der einen so genau in die Aushöhlung der anderen sich legte, daß an der Stelle der Vereinigung die bekannten Farben dünner Schichten sich zeigten, und alsdann eine Schicht Canadabalsam zwischen beide Linsen gebracht wurde, die so dünn war, daß diese Farben dadurch nicht weggenommen wurden, so verursachte dies doch schon eine recht auffallende Veränderung im Grade der sphärischen Aberration. Wo nun solche ganz unbedeutende Differenzen schon von Einfluß sind, da werden natürlich auch die besten Berechnungen in der Ausführung nicht ausreichen.

§. 187. Methoden, um die Linsen zu Systemen zu verbinden.

Es giebt zwei Hauptmethoden, nach denen die Linsen zu Systemen verbunden werden. Die erste und ältere Methode ist die, daß die einzelnen Doppellinsen nach ihrer Stärke gewöhnlich mit 1, 2, 3, 4 u. s. w. numerirt und aufeinander geschraubt werden, so daß 1 + 2, 1 + 2 + 3, 2 + 3 + 4 u. s. w. die passenden Combinationen sind, um ein System zu bilden. Besser jedoch ist die jetzt mehr und mehr in Gebrauch kommende Methode, nach welcher jene Doppellinsen, die ein System ausmachen, in andauernde Verbindung mit einander gebracht werden. Allerdings vermehrt sich hierdurch die Anzahl der einzelnen Linsen für eine gleiche Zahl von Combinationen und es steigt mithin der Preis des Apparats. Dies wird aber wiederum reichlich aufgewogen durch die größere Vollkommenheit, die einem jeden für sich bestehenden Systeme zu Theil werden kann, sowie durch die größere Leichtigkeit im Wechseln der Objective.

Was die verhältnißmäßige Ordnung betrifft, in welcher die Linsen auf einander folgen, so nimmt man allgemein und mit Recht als Regel an, daß die stärksten, also die kleinsten Linsen dem Objecte zugekehrt sein müssen. Es verdient diese Stellung aus einem doppelten Grunde den Vorzug. Zunächst ist der Brennpunkt oder die Stelle des Objects alsdann weiter von der untersten Linse entfernt, und zweitens ist diese Stellung auch für die Helligkeit des Bildes die vortheilhafteste, wie man aus folgender Betrachtung leicht entnehmen kann. Bei der entgegengesetzten Stellung der Linsen nämlich würde ein großer Theil der Strahlen, welche durch die erste größere Linse hindurch gehen, durch die darüber befindliche kleinere Linse nicht durchgelassen werden können; ist dagegen die kleinste Linse nach unten

befindlich, dann können die Oeffnungen der aufeinander folgenden Linsen sich dergestalt zu einander verhalten, daß alle Strahlen, welche die vordere Fläche der dem Object zugekehrten Linse treffen, an der hintersten Fläche wieder heraustreten, wie man aus Taf. XXIV, Fig. 5 sogleich ersieht. In der That erlangen die aplanatischen Linsensysteme dadurch, daß sie eine große Oeffnung zulassen, den wesentlichsten Vorzug vor jenen Objectiven, die aus einer einzigen Linse bestehen; denn diesem Umstande vornehmlich verdanken unsere neueren Mikroskope, wie später gezeigt werden soll, jene Eigenschaft, die man mit dem Namen der durchdringenden oder penetrirenden Kraft belegt hat.

§. 188. Das Ocular und seine Stellungen zu den andern Linsen.

Wenden wir uns jetzt zur näheren Betrachtung der übrigen optischen Einrichtung, welche mit der Anwendung aplanatischer Linsensysteme zu Objectiven im Zusammenhange steht.

Wir haben schon früher darauf hingewiesen, daß das Collectivglas und das Ocular nicht ganz ohne Einfluß auf die beiden Aberrationen sind. Schon daraus ist zu entnehmen, daß ihre vereinigte Wirkung eben sowohl einen nachtheiligen als einen vortheilhaften Einfluß auf die Schärfe des Scheinbildes auszuüben vermag, und daß mithin ein genaues relatives Verhältniß zwischen ihnen und dem Objectiv in Frage kommen muß, wenn es sich um die Erreichung des höchsten Grades von Vollkommenheit handelt, deren das zusammengesetzte Mikroskop fähig ist. Hier sind nun eine Anzahl Fälle möglich, die wir der Reihe nach betrachten wollen.

Bei unsern neuen Mikroskopen ist in der Regel, um die Vertauschung leichter zu machen, jedes Ocular mit dem zugehörigen Collectivglase in eine gemeinschaftliche Fassung eingesetzt, und das Ganze nennt man, freilich nicht ganz richtig, das Ocular.

Bei oberflächlicher Betrachtung erscheint es am passendsten, wenn man, um beide Aberrationen vollständig aufzuheben, die Objectivsysteme sowohl als die beiden das Ocular zusammensetzenden Linsen möglichst aplanatisch macht, und deshalb auch für das Ocular achromatische Doppellinsen benutzt. Manche Optiker haben auch solche aplanatische Oculare zu ihren Mikroskopen verwendet, aber immer nur für mäßige Vergrößerungen und mit einem sehr kleinen Gesichtsfelde. Aus dem Nachfolgenden wird sich aber ergeben, daß solche Oculare, wenn sie abwechselnd mit andern gebraucht werden sollen, niemals ganz aplanatisch sein dürfen, da gerade in den Aberrationen des Oculars ein Mittel geboten ist, die Aberrationen des Objectivs zu beseitigen, wenn diese im entgegengesetzten Sinne statt haben.

Um dies deutlich zu machen, muß ich daran erinnern, daß bei der sphärischen Aberration der Brennpunkt der Randstrahlen der Linse näher liegt, als jener der Axenstrahlen, und daß bei der chromatischen Aberration der Brennpunkt der stärker brechenden violetten Strahlen sich näher der Linse befindet, als die Brennpunkte der übrigen farbigen Strahlen. Soll nun durch das Ocular ein Scheinbild wahrgenommen werden, welches so viel als möglich aus einer Vereinigung aller farbigen Strahlen besteht, dann muß die Ordnung der einzelnen auf einander folgenden Bilder umgekehrt werden, d. h. jene Bilder, welche bei einem nicht verbesserten Objectivglase dem Ocular zunächst würden zu liegen kommen, müssen nun am weitesten von dem Ocular entfernt bleiben. Mit andern Worten: das Objectivsystem, wenn es in einem zusammengesetzten Mikroskope zur Anwendung kommt, darf nicht vollkommen aplanatisch, es muß vielmehr etwas überverbessert sein.

Zur Aufhellung des Gesagten diene Taf. XXIV, Fig. 6. Es ist hier die optische Einrichtung des von Huygens zuerst für Fernröhre empfohlenen Oculars (in roher Form, wo es aus 2 biconvexen Linsen besteht, heißt es Campani's Ocular. Auch nennt man es das

negative Ocular, im Gegensatz zum Ocular von Ramsden oder zum positiven Ocular, (von dem später die Rede sein wird) dargestellt, das aber jetzt allgemein bei den neuern Mikroskopen in Anwendung kommt. AB ist das Ocular, CD das Collectiv; beide sind planconvex und ihre gewölbten Flächen sehen nach unten, was keineswegs gleichgültig ist. Für das Collectiv ergiebt sich die Nützlichkeit dieser Stellung aus der früher angegebenen Erklärung der Weise, wie dieses Glas der Krümmung des Bildes entgegenwirkt. Für das Ocular könnte es bei oberflächlicher Betrachtung zwar geeigneter erscheinen, wenn seine ebene Fläche dem Luftbilde zugekehrt wäre, weil dann die sphärische Aberration merklich geringer ist. Daß dies aber hier keinen Vortheil bietet, davon kann sich jeder, der ein Mikroskop mit einem solchen Ocular besitzt, überzeugen, wenn er die oberste Linse umkehrt. Ist das Mikroskop gut, dann wird ihm das Resultat entgegentreten, daß das Feld kleiner, weniger geebnet und das Bild weniger scharf wird, weil bei einem richtigen Verhältniß zwischen den entgegengesetzten Aberrationen des überverbesserten Linsensystems und des nicht verbesserten Oculars die Bilder gerade in jene Entfernung vom Ocular zu liegen kommen, die nöthig ist, damit dieselben vereinigt auf die Netzhaut auffallen. Für die chromatische Aberration ist dies in der Figur angedeutet. Wäre nicht das Collectivglas CD angebracht, so würden durch ein überverbessertes Objectivsystem eine Anzahl farbiger Bilder entstehen, von denen a als das entfernteste und größte violett, b als das nächste und kleinste roth sein würde. Das Collectivglas erzeugt keine Veränderung in der Ordnung der Bilder, nur liegen sie etwas näher bei einander in c und d. Ist nun die Distanz zwischen diesen farbigen Bildern und dem Ocular der Art, daß das violette Bild c etwas nach innen von v, der Brennweite desselben für violette Strahlen, liegt, und das rothe Bild d etwas nach innen von r, der Brennweite desselben für rothe Strahlen, dann werden die von den

Bildern divergirend ausgehenden farbigen Strahlen, nachdem sie durch die Linse gebrochen worden sind, als parallele in's Auge treten, d. h. also (abgesehen von den jederzeit übrig bleibenden Farben des secundären Spectrums) als weißes Licht.

Auf ähnliche Weise läßt sich auch nachweisen, daß die sphärische Aberration des Oculars gerade dazu dienen kann, die auf einander folgenden Bilder zu vereinigen, welche durch ein für sphärische Aberration überverbessertes Linsensystem erzeugt werden. Dazu wird nur erfordert, daß der Abstand der am meisten von einander entfernten Bilder der Länge der sphärischen Aberration des Oculars gleich sei, so daß das oberste und größte Bild etwa innerhalb des Brennpunktes für den Randtheil des Oculars, das unterste oder kleinste Bild etwas innerhalb des Brennpunktes für den Mitteltheil desselben zu liegen kommt. Nach dem Durchgange der Strahlen durch das Ocular werden sich dann die früher gesonderten Bilder zusammen zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigen.

Aus dem eben Angeführten ergiebt sich soviel, daß man, wenn die durch das Ocular zu erreichende Verbesserung eine möglichst vollkommene sein soll, sein Ziel dahin richten muß, daß der wechselseitige Abstand der Extreme beider Bildarten genau entsprechend sei der Länge der beiden Aberrationen. Sind die Bilder zu weit von einander entfernt, dann behält das Objectivsystem einen überwiegenden Einfluß und die Lichtbündel sind noch überverbessert, wenn sie das Ocular verlassen; ist dagegen die Aberrationslänge des Oculars größer als der Abstand der Bilder, dann werden diese unterverbessert. Dabei darf man allerdings nicht vergessen, daß die Längen der beiden Aberrationen nicht ganz gleich sind, so daß, wenn für eine das Maximum der Verbesserung erreicht ist, die andere noch unterverbessert oder schon überverbessert sein kann. Doch läßt sich immer ein gewisses mittleres Verhältniß ausfindig machen, welches dem Zwecke am besten entspricht.

Es würde nun eine sehr mühevolle Aufgabe sein, sollten das Ocular und das Objectivsystem immer so genau zu einander passen, daß ihre wechselseitigen entgegengesetzten Aberrationen einander genau aufheben. Auch würde dann jedes Objectivsystem nur mit einem einzigen Oculare zu den besten Resultaten führen. Glücklicher Weise giebt es aber mehr denn ein Mittel, um hierin Abhülfe zu gewähren.

Zuvörderst kommt hier der Einfluß des Collectivglases auf den wechselseitigen Abstand der Bilder in Betracht. Nähert man es nämlich dem Ocular, dann werden die Luftbilder größer, und zugleich nimmt der sie trennende Zwischenraum oder vielmehr die Dicke des Raumes, in dem sie sich bilden, an Größe zu. Das Gegentheil tritt in dem Falle ein, wenn die Collectivlinse vom Ocular entfernt wird. Der Verfertiger eines Mikroskops hat es also in seiner Gewalt, durch wiederholte Versuche die gehörige Entfernung zwischen beiden Gläsern des Oculars ausfindig zu machen, bei welcher die vortheilhafteste Wirkung erzielt wird. Daraus ergiebt sich aber schon, daß ein Ocular, welches mit einem bestimmten Linsensysteme ein ausnehmend scharfes Bild giebt, eine weniger gute Combination mit einem andern bilden wird, das sonst ganz gut gearbeitet sein kann, bei dem aber die Ueberverbesserung etwas mehr oder weniger beträgt, es müßte denn (was freilich in der Regel nicht der Fall ist) das Ocular aus zwei ineinander verschiebbaren Röhren bestehen, die eine für das eigentliche Ocular, die andere für das Collectivglas, so daß der Beobachter ihre wechselseitige Distanz selbst in der Weise abzuändern vermag, wie es für das benutzte System am passendsten ist.

Ein zweites Mittel bietet sich in der Veränderung des Abstandes zwischen Ocular und Objectiv. Es wurde früher nachgewiesen, daß durch Vermehrung dieser Entfernung die vergrößernde Kraft zunimmt, durch deren Verminderung dagegen abnimmt. Da nun mit der stärkern und schwächern Vergrößerung auch immer

die wechselseitige Distanz zwischen den extremen Luftbildern zu- und abnimmt, so kann natürlich auch hierdurch den früher gestellten Forderungen Genüge geschehen. Wird das nämliche Linsensystem und das nämliche Ocular benutzt, dann vermag die Aberrationsverbesserung auch nur für eine bestimmte Distanz zwischen jenen beiden ihr Maximum zu erreichen. Wird dann diese Distanz verlängert, so rücken die extremen Luftbilder weiter aus einander. Man kann nun zwar die frühere Distanz wieder herbeiführen, wenn man das Collectivglas vom Ocular entfernt; dadurch geht aber an der Vergrößerung wiederum verloren, was durch die frühere Verlängerung erreicht worden war. Es steht somit die Länge des Rohres bei einem zusammengesetzten Mikroskope in genauern Zusammenhange mit dem Grade von Ueberverbesserung der Objectivsysteme. Je geringer diese Ueberverbesserung innerhalb gewisser nicht zu überschreitender Grenzen ist, um so weniger wird das Scheinbild an Nettigkeit und Schärfe verlieren, wenn man das Rohr länger macht, und wenn man im Allgemeinen die Vergrößerung auf andere Weise, als durch einen Wechsel der Objective verstärkt.

Das Ocular von Ramsden besteht ebenso, wie jenes von Huygens, aus zwei planconvexen Linsen; diese sind aber mit den gewölbten Flächen einander zugekehrt, und sie liegen zugleich näher bei einander, so daß das Bild nicht zwischen ihnen steht, sondern in kleiner Entfernung von dem untersten Glase, d. h. also zwischen diesem und dem Objectiv. Ein solches Ocular ist also eigentlich ein Doublet, dessen vergrößernde Kraft einem einzigen stärker gekrümmten Ocular gleichkommt.

Aendert man innerhalb gewisser Grenzen die Entfernung der beiden Linsen von einander, so ändert sich auch die Brennweite des Systems, und damit zugleich die chromatische und sphärische Aberrationslänge. Man hat es daher mit diesem Ocular ebenso wie mit der Huygens'schen Einrichtung in seiner Gewalt, durch

Benutzung eines überverbesserten Objectivsystems die Dicke der Luftbilderschicht mit der Aberrationslänge des Oculars in ein entsprechendes Verhältniß zu bringen. Darin also stehen beide Oculararten einander ziemlich gleich.

Die Einrichtung von Ramsden hat nun allerdings einige Vortheile. Während mit Huygens' Ocular das Bild zuerst durch das Collectivglas verkleinert (Fig. 15) und seine Vergrößerung hierauf nur durch das Ocular herbeigeführt wird, findet hier gar keine vorgängige Verkleinerung des Bildes statt und die Vergrößerung ist die Folge der vereinigten Wirkung beider Linsen. Werden also Linsen von gleicher Oeffnung und Krümmung, folglich auch von der nämlichen chromatischen und sphärischen Aberration zu einem Huygens'schen und zu einem Ramsden'schen Oculare vereinigt, so wird man durch letzteres eine merklich stärkere Vergrößerung bekommen, ohne daß die Aberrationen in gleichem Verhältniß zunehmen. Je mehr ferner zwei Linsen einander genähert werden, um so eher werden auch die seitlich auffallenden Strahlen durch beide Linsen gehen, und somit ist das Gesichtsfeld beim Ocular von Ramsden größer.

Diesen Vortheilen stehen indessen nicht unerhebliche Nachtheile gegenüber. Da das Bild sehr nahe der Oberfläche des untern Glases liegt, so zeigen sich die geringsten Fehler der Politur, die kleinsten Risse oder Fäserchen auf seiner Oberfläche auch im Gesichtsfelde. Ist diese Oberfläche nicht auf's Sorgfältigste polirt und wird sie nicht immer gereinigt, so läuft man Gefahr, diese Unebenheiten für Theile des Bildes zu halten, das sich im Gesichtsfelde befindet.

Wir sahen dann ferner, daß es beim Ocular von Huygens durch ein passendes Verhältniß zwischen den Krümmungen des Collectivs und des Oculars möglich ist, die Krümmung der Ebene, worin das Bild liegt, durch das Collectiv so umzukehren, daß jenes durch das Ocular wahrgenommene Scheinbild in einer geraden Fläche sich darstellt. Beim Ocular von Ramsden

kann so etwas nicht geschehen, weil eigentlich kein Collectiv bei demselben vorhanden ist.

In allen Fällen also, wo es weniger auf ein großes Gesichtsfeld ankommt, als auf die größtmöglichste Schärfe des Bildes, im ganzen Gesichtsfelde, verdient das Ocular von Huyghens den Vorzug.

Endlich giebt es noch einen Fall, wo man dem Oculare von Ramsden vor jenem von Huyghens den Vorzug geben muß, nämlich bei Ocularmikrometern von verschiedener Einrichtung. Wird ein Glasmikrometer oder werden die beweglichen Fäden eines Schraubenmikrometers zwischen dem Collectivglase und dem Ocular angebracht, so daß man durch das letztere hindurch die Mikrometertheilungen oder die Flächen deutlich wahrnimmt, dann wird ihr vergrößertes Scheinbild in einer sehr gekrümmten Fläche liegen, wie alle anderen Gegenstände, die man durch eine einzelne Linse betrachtet. Die nahe dem Rande des Gesichtsfeldes befindlichen Abtheilungen werden sich bedeutend größer darstellen, als jene in der Mitte. Alle Linien, die nicht gerade durch die Mitte des Gesichtsfeldes gehen, und so auch die Fäden des Schraubenmikrometers werden etwas nach außen gekrümmt erscheinen. Das ist nun in viel geringerem Grade der Fall, sobald das Mikrometer vor einem Ramsden'schen Ocular sich befindet, und zwar aus den nämlichen Gründen, weshalb das Gesichtsfeld beim Gebrauche von Doublets immer mehr geradflächig ist, als wenn nur eine einzelne Linse benutzt wird, die gleich stark vergrößert. Mit einem derartigen Ocular sieht man daher alle geraden Linien, die sich in seiner Brennweite befinden, auch fast vollkommen geradlinigt, und entfernt man sich nicht zu weit von der Mitte, so befinden sie sich auch in verhältnißmäßiger Entfernung von einander, was natürlich zu Messungen unumgänglich nöthig ist.

§. 189. Die katadioptrischen Spiegelmikroskope.

Wir haben gesehen, daß, wenn ein Object von einem Hohlspiegel in dessen Brennpunkte steht, die Strahlen parallel zurückgeworfen werden, und daß daher ein Auge, welches durch Parallelstrahlen deutlich zu sehen vermag, ein aufrechtes Scheinbild des Gegenstandes erblicken muß. Dieses Scheinbild wird zugleich vergrößert gesehen und zwar um so mehr, je geringer die Brennweite des Spiegels ist. Hiernach ließe sich auch der einfache Hohlspiegel wie ein einfaches Vergrößerungsglas gebrauchen, allein da die Brennweite des Spiegels nur gering sein kann, so wird es unmöglich, den Gegenstand gehörig zu beleuchten.

Wir haben schon gesehen, daß Hohlspiegel Luftbilder entwerfen, wenn das Object weiter vom Spiegel absteht, als der Brennpunkt, und diese Bilder stehen um so weiter vom Spiegel ab, je näher das Object an den Brennpunkt anrückt, werden aber auch in dem Maße, als ihr Abstand größer ist, als der des Objects, vergrößert. Demnach sei MN (Taf. XXVI, Fig. 1) ein Hohlspiegel und a ein Object, das nahe am Brennpunkte steht, so wird durch die vom Spiegel reflectirten Strahlen bei A ein vergrößertes umgekehrtes Luftbild entstehen, und wenn man dasselbe mit dem einfachen oder zusammengesetzten Ocularen B betrachtet, so hat man das Newton'sche Spiegelmikroskop. Das von dem Hohlspiegel erzeugte Bild ist frei von den Fehlern der Farbenzerstreuung, und die Abweichung wegen der Kugelgestalt ist nur gering, so daß in dieser Hinsicht das Spiegelmikroskop vor dem mit einer Objectivlinse große Vorzüge hat. Aber dagegen besitzen alle Spiegel einen großen Lichtmangel und es hält immer schwer, das Object gehörig zu erleuchten, abgesehen davon, daß es sich nicht bequem genug vor dem Spiegel befestigen läßt.

Amici brachte an dem einen Ende der horizontalgestellten, einen Fuß langen Mikroskopröhre einen mit seiner polirten Seite gegen das Innere der Mikroskopröhre gewendeten, metallenen Concavspiegel (Taf. XXVI, Fig. 2) von genau elliptischer Krümmung an, welcher 1 Zoll Durchmesser und $2\frac{6}{10}$ Zoll Brennweite hatte. Vor demselben steht ein Planspiegel a, welcher $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hat und in diagonaler Richtung gegen den elliptischen Spiegel und gegen die untere, an dieser Stelle (bei c) durchbrochene Seite der Mikroskopröhre geneigt ist, und dessen Mittelpunkt von dem elliptischen Spiegel um $1\frac{1}{2}$ Zoll absteht. Das Object liegt unterhalb der seitlichen Oeffnung der Mikroskopröhre, $1\frac{1}{2}$ Zoll von der Oeffnung entfernt, in dem Brennpunkte des elliptischen Spiegels auf einem gewöhnlichen Objecttische e. Die von demselben auf den Planspiegel fallenden Lichtstrahlen werden von diesem auf den elliptischen Spiegel geworfen und von dem letzteren neben dem Planspiegel vorüber in die Röhre des Mikroskops reflectirt und im zweiten Focus des Spiegels zu einem Bilde vereinigt, welches durch ein Ocular i betrachtet wird. Die verschiedenen Vergrößerungen werden, ohne den Spiegel zu wechseln, durch Anwendung verschieden starker Oculare erhalten; die stärkste derselben beträgt 1000 Durchmesser. Die Beleuchtung durchsichtiger Objecte wird durch einen Concavspiegel g, die der opaken Objecte durch das bloße Tageslicht oder durch Lampenlicht, je nach den Umständen mit Hülfe des Lieberkühn'schen Spiegels und einer am Objecttische angebrachten Beleuchtungslinse f bewirkt.

Das Bild dieses Mikroskops war bei der genauen elliptischen Form des Spiegels frei von sphärischer Aberration, von der chromatischen war es ohnedies befreit, indem es nicht durch Brechung, sondern durch Reflexion gebildet war; auch wurde einstimmig diesem Mikroskope in Hinsicht auf Schärfe des Bildes der Vorzug von allen damals existirenden Mikroskopen zuerkannt. Dagegen litt dieses Mikroskop an großem Lichtmangel, nicht nur weil durch

die doppelte Reflexion viel Licht verloren ging, sondern auch, weil der Concavspiegel einen zu großen Focus und eine zu geringe Oeffnung hatte, und der Planspiegel bei seiner bedeutenden Größe einen beträchtlichen Theil des vom Concavspiegel zurückgeworfenen Lichtes auffing, welcher letztere Umstand eine neblige Trübung in der Mitte des Gesichtsfeldes erzeugte, wenn nicht sehr starke Oculare angewendet wurden. Die Vorzüge dieses Instruments auf der einen und die Mängel auf der andern Seite veranlaßten Dr. Goring zu dem Versuche, Verbesserungen an demselben anzubringen, welche ihm auch mit Hülfe von Pritchard gelangen. Dieses verbesserte Instrument ist mit sechs zum Auswechseln bestimmten elliptischen Spiegeln von verschiedener Stärke versehen, von welchen der schwächste 2'' Focus und einen Oeffnungswinkel von $13\frac{3}{4}$°, der stärkste $\frac{3}{16}$'' Focallänge und einen Oeffnungswinkel von 50° besitzt. Hiermit war, wie bei den neuern achromatischen Mikroskopen, das Mittel gewonnen, die stärkeren Vergrößerungen nicht mit starken Ocularen erzwingen zu müssen, sondern durch starke Objective mit großem Oeffnungswinkel zu erhalten. Dabei trat freilich die große Unbequemlichkeit ein, daß der Focus des stärksten Spiegels in das Innere der stärksten Mikroskopröhre selbst fiel, so daß das Object durch die seitliche Oeffnung in dieselbe eingeschoben werden mußte. Die Größe des Planspiegels zur Größe des Concavspiegels variirte von $\frac{1}{3}$ bis zu $\frac{1}{2}$ vom Durchmesser des ersteren. Die Vergrößerungen des Mikroskops steigen von den Vergrößerungen einer Linse von $\frac{1}{2}$'' Focus bis zu der einer Linse von $\frac{1}{80}$'' Brennweite.

Auch dieses Mikroskop litt, nach Dr. Goring's eigenen Angaben, im Verhältniß zu einem dioptrischen an Lichtmangel, so daß derselbe die Helligkeit des katadioptrischen Mikroskops nur etwa zu $\frac{1}{3}$ der Helligkeit eines dioptrischen von gleicher Oeffnung anschlägt. Als einen größern Uebelstand betrachtet jedoch Goring die eigenthümliche braune Farbe des Bildes dieser Mikroskope, welche demselben das Aussehen einer auf braunem

Papiere entworfenen Zeichnung geben, wenn nicht künstliches Licht zur Beleuchtung verwendet werde, wobei diese unangenehme Farbe unmerklicher werde. Wenn schon diese beiden Umstände dem dioptrischen Mikroskope einen bedeutenden Werth vor dem katadioptrischen zuerkennen lassen, so spricht zu Gunsten des erstern hauptsächlich die große Geneigtheit aller aus Spiegelmetall verfertigten Spiegel, mit der Zeit anzulaufen, durch welchen Umstand natürlicherweise das Instrument zu Grunde geht. Schon die Reinigung der Spiegel von Staub und Schmutz, mittelst eines Pinsels und Abwaschens mit Alkohol, muß mit der äußersten Vorsicht geschehen, um die Politur nicht zu verderben. —

Wenn man den Strahlen innerhalb des Mikroskoprohrs eine andere Richtung geben will, so benutzt man ganz passend Glasprismen, durch deren Form die Richtung bestimmt wird, in welcher die Strahlen weiterhin ihren Weg nach dem Auge fortsetzen werden.

Die gebräuchlichste Form ist das rechtwinkelige Prisma, dessen Durchschnitt in Taf. XXV. Fig. 1 dargestellt ist. Treffen die parallelen Strahlen a, b, c, d, e senkrecht auf dieses Prisma, so werden sie ohne eine Brechung zu erleiden, die Hypotenusenfläche AB erreichen, und zwar unter einem Winkel von 45°. Da nun gewöhnliches Glas einen Grenzwinkel von etwa 40° besitzt, so erfolgt an dieser Fläche eine vollständige Reflexion unter dem nämlichen Winkel von 45°, die Strahlen bilden daher einen rechten Winkel mit der ursprünglichen Richtung und verlaufen nach a′, b′, c′, d′, e′. Ist also ein solches Prisma mit der Fläche BC dem Auge zugekehrt, so wird man alle Objecte wahrnehmen, die ihre Strahlen nach der Oberfläche AB entsenden. Man sieht aber auch zugleich, daß die Gegenstände sich nicht mehr ganz in ihrer ursprünglichen Richtung darstellen. Wie bei jeder Reflexion findet auch hier eine halbe Umkehrung statt, wie aus der Figur zu entnehmen ist, worin die reflectirten Strahlen im Verhältniß zu den einfallenden in umgekehrter Ordnung auf einander folgen. Ein

solches rechtwinkeliges Glasprisma läßt sich an allen Punkten des Rohrs zwischen dem Objectiv und dem Ocular anbringen; nur muß das Rohr, wie sich von selbst versteht, alsdann an dieser Stelle rechtwinkelig umgebogen sein. Man sieht in Taf. XXV, Fig. 2, welchen Gang die Lichtstrahlen nehmen, wenn ein solches Prisma dicht oberhalb des Objectivs eines zusammengesetzten Mikroskops angebracht sind. Wäre das Prisma ABC nicht da, dann würden die divergirenden Strahlenbüschel, deren Begrenzung in a und b befindlich ist, in der Richtung der punktirten Linien a'' und b'' fortgehen; durch dieses Prisma werden sie nach a' und b' reflectirt, ohne daß der Grad ihrer Divergenz sich im Geringsten abändert, daher auch die Entfernung, in welcher das Bild entsteht, durchaus die nämliche bleibt.

§. 190.

Hierauf gründet sich das Mikroskop von Chevalier (Taf. XXV, Fig. 3). A ist das Ocular, E das Objectiv, welches aus zwei oder drei achromatischen Linsen, von kurzen Brennweiten, wie K vorstellt, zusammengesetzt ist, und durch deren Zahl und Auswahl verschiedene Vergrößerungen bewirkt werden. Die Röhre, in welche die Gläser eingesetzt sind, ist unter einem rechten Winkel gebrochen, so daß die Betrachtung der Objecte in horizontaler Richtung vorgenommen werden kann. Der Theil G der Röhre mit dem Prisma P, durch welches die von E kommenden Strahlen eine totale Reflexion erleiden, kann auch abgeschraubt, und der horizontale und verticale Theil der Röhre zu einer einzigen verticalen verbunden werden. Durch ein Gelenk am Fußgestell des Instruments läßt sich ferner der Röhre AG jede andere Richtung geben. Bei q und a sind Scheiben mit kreisförmiger Oeffnung, sogenannte Diaphragmen oder Blendungen zur Beseitigung der Randstrahlen und der sphärischen Aberration angebracht.

Die Linse H oder das Collectiv vereinigt die von E kommenden Strahlen in einer kürzeren Brennweite zu einem etwas kleineren Bilde, als es ohne dasselbe geschehen würde. Es vergrößert dafür das Gesichtsfeld des Mikroskops und giebt dem Bilde mehr Reinheit, indem es in Verbindung mit dem nicht achromatischen Ocular die Farbenzerstreuung wieder aufhebt, welches letzteres allein erzeugen würde. Das Object liegt, gewöhnlich zwischen Glasplatten, auf dem Objectkörper oder Objecttisch B, der bei c durchbohrt ist und durch eine Schraube D in die gehörige Entfernung vom Objectiv eingestellt werden kann. Der Sammelspiegel M und die Sammellinse L dienen zur größern Beleuchtung des Objects von unten und oben.

§. 191.

Merz erkannte später, daß durch das reflectirende gläserne Prisma immer etwas Licht verloren geht, und deshalb gab er seinem Mikroskoprohre die Einrichtung, daß das Prisma zwar eingeschoben war, aber nach Willkür auch wieder weggenommen werden konnte, wo dann das ganze Rohr vertical stand. So wurden die Vortheile des Prisma gewahrt, seine Nachtheile aber beseitigt. Uebrigens war die mechanische Einrichtung dieses Mikroskops eben so einfach als zweckmäßig. (Taf. XXV, Fig. 4). Eine vierseitige Stange a a ruht auf einem festen Dreifuße. Diese Stange ist aus Stahl, alles Uebrige dagegen aus Messing. Zwei vierseitige Hülsen b und c schieben sich an dieser Stange auf und nieder: b trägt das Mikroskoprohr d, c hingegen den Objecttisch e, und so können diese beiden möglichst in die nöthige Entfernung von einander gebracht werden. Die obere Hülse wird durch die Klemmschraube f festgestellt. Zur genauen Einstellung dient die feine Schraube g, wodurch der Objecttisch allmälig auf- und abwärts bewegt wird. Zum Beleuchtungsapparate gehört ein Spiegel h mit

concaver und gerader Fläche, sowie ein Diaphragma i, das sich um den Stift k dreht und an diesem sich höher und niedriger stellen läßt.

Der optische Theil besteht aus sechs achromatischen Linsen, die unter einander zu fünf Systemen verbunden werden können. In dem Rohre befindet sich eine achromatische concave Linse, wodurch die Vergrößerung verstärkt wird. Es gehören dann fünf verschiedene Oculare dazu, so daß die Vergrößerung von 12 bis zu 2400 steigt.

§. 192.

Nach den früher erwähnten Principien ist das Mikroskop von Oberhäuser construirt (Taf. XXV, Fig. 5).

Es hat einen schweren hufeisenförmig gestalteten Bogen a b c aus Messing, auf dem sich nach hinten rechtwinkelig das kurze und schwere, unten breit anfangende Stück d erhebt, welches in der Mitte den Ausschnitt e f besitzt. In diesem Ausschnitte bewegt sich ein vierseitiges Stück mit dem Knopfe g. Vorderhalb des Ausschnitts steht dies vierseitige Stück mit der Kurbel h in Verbindung, die sich vertical herumdrehen läßt, so daß der daran befestigte Spiegel i in alle Stellungen kommen und höher oder tiefer gestellt werden kann. Bei dieser neuen Einrichtung konnte auch der frühere Hebel zum Auf- und Niederbewegen der Diaphragmen wegfallen; denn da der Objecttisch ganz frei ist, läßt sich dies ganz leicht mit der Hand ausführen. Bei A *ist im* Durchschnitte dargestellt, wie das Diaphragma a in der Röhre p steht, die ihrerseits in einer runden Oeffnung des vierseitigen Stücks q q gleitet. Dieses hat schief abgeschnittene Ränder, welche in einen weiten schwalbenschwanzförmigen Ausschnitt r r unter dem Objecttische passen. Der Knopf s, welcher mit dem vierseitigen Stück q q verbunden ist, dient dazu, um es herauszunehmen; mittelst desselben kann man aber auch die Oeffnung des Diaphragma etwas aus der Axe des Instruments be-

wegen, so daß der Randschatten in's Gesichtsfeld trifft, was in manchen Fällen sein Gutes hat.

Der Objecttisch ist ebenfalls etwas verändert. Er ist vierseitig und hat etwa 10 Centimeter Durchmesser; statt der schwarzen Glasplatte kommt eine messingene Scheibe, die gleich dem schwarzen Objecttische selbst matt schwarz gemacht ist, in die große kreisförmige Höhle desselben, so daß dieser nun eine ganz ebene Oberfläche hat mit einer kleinen runden Oeffnung in der Mitte.

Die übrigen Einrichtungen des frühern Mikroskops, nämlich das Umdrehen des Objecttisches zugleich mit dem Mikroskopkörper, die Säule mit der Schraube und Spiralfeder, desgleichen der breite Arm, welcher das Mikroskoprohr trägt, sind unverändert geblieben. Nur besteht das Mikroskoprohr aus zwei Röhren, von denen die obere v in der untern x sich auf- und niederschiebt, um den Abstand zwischen Ocular und Objectiv zu vermehren und zu vermindern. Ist das innere Rohr ausgezogen, dann steht das Ocular 36 Centimeter über dem Tische, ist es dagegen ganz hineingeschoben, nur 30 Centimeter; man kann daher bequem im Sitzen arbeiten.

Oberhäuser hat elf verschiedene Linsensysteme, die er als Nr. 1, 2, 3, 4, 4 A, 4 B, 5, 6, 7, 8, 9 bezeichnet. Wir fügen in der folgenden Tabelle die Brennweiten und die Vergrößerung der äquivalenten Linsen bei, denen jene der Systeme ungefähr entsprechen:

Nr.	Brennweite.	Vergrößerung.
	Millimeter.	
1	65	5
2	33	9
3	22	13
4	13,02	20
4 A	8,5	30
4 B	7,7	34
5	6,5	40
6	5,4	49
7	3,22	80
8	2,50	101
9	1,70	148

§. 193.

Ebenso beruht auf den besprochenen Grundsätzen das Mikroskop von Plössl.

Auf einem Dreifuße, (Taf. XXVII, Fig. 1), der durch Stellschrauben horizontal gestellt werden kann, ruht die Säule a, mit welcher oben durch das Charnier b die dreiseitige stählerne Stange c verbunden ist. (Bei einigen seiner Mikroskope hat Plössl auch die Säule mit dem Charniere weggelassen, es ruht die dreiseitige Stange unmittelbar auf dem Fußgestelle, und auf einem der drei Füße steht der Spiegel). Das Mikroskop kann daher vertical stehen oder auch unter einem bestimmten Winkel geneigt werden. Das Mikroskoprohr d ist an der dreiseitigen Hülse e aufgehängt, die sich durch einen Trieb an der Stange c auf- und niederbewegt. Der Objecttisch f kann durch die feine Schraube g höher oder niedriger gestellt werden, und 2 diagonal stehende Schrauben an demselben bewegen die Objecte im Gesichtsfelde. Auf

denselben paßt auch ein Schraubenmikrometer mit einem Nonius, der noch $\frac{1}{100000}$ Wiener Zoll angiebt. Der Beleuchtungsapparat für durchfallendes Licht besteht aus einem Hohlspiegel, der auf der Hinterseite geschwärzt ist, mit einer Linse zur Verstärkung des Lichts, und aus einem Selligue'schen convexen Prisma m für auffallendes Licht.

Seit 1849 hat Carl Kellner in Wetzlar sich als Mikroskopverfertiger einen Namen gemacht.

Nach Harting besteht das Objectiv aus zwei achromatischen Doppellinsen und hat eine Brennweite von 7,9 Millimeter. Die Aberrationen, zumal die sphärische, sind aber so vollkommen verbessert, daß man weit stärkere Oculare damit verbinden kann, als es gewöhnlich zu geschehen pflegt; daher schien es, an den nämlichen Probeobjecten geprüft, im optischen Vermögen einem Oberhäuser'schen Linsensysteme von 3,22 Millimeter und einem Nachet'schen Systeme von 4,8 Millimeter Brennweite gleich zu stehen. In dieser Beziehung stand es nur dem Amici'schen Systeme von 8,7 Millimeter Brennweite nach.

Mit den beiden Ocularen hatte man eine 200malige und eine 235malige Vergrößerung. Zu einem der andern Mikroskope gehörte übrigens ein stärkeres Ocular, und die Vergrößerung stieg dadurch bis zu 460, jedoch ohne Vortheil für die Beobachtung.

§. 194.

Die Kellner'schen Mikroskope zeichnen sich besonders durch das große und geradflächige Gesichtsfeld aus. Sein Durchmesser für eine Sehweite von 25 Centimeter beträgt bei den drei genannten Ocularen 22,26 und 27 Centimeter. Ungeachtet dieser großen Ausdehnung macht sich gleichwohl fast keine Krümmung des Feldes bemerkbar. Nur bei dem einen Oculare kommen noch schwache Spuren davon vor; die sehr geringe Krümmung liegt

aber nach innen, also gerade umgekehrt wie gewöhnlich. Diese Krümmung des Bildes ist dadurch aufgehoben, daß das Ocular die passende Einrichtung hat zur Brennweite des Objectivs. Es läßt sich nämlich in einem zusammengesetzten Mikroskope die erste Krümmung, welche durch das Objectiv hervorgebracht wird, durch das Collectivglas in eine entgegengesetzte umwandeln, und diese kann ihrerseits durch die wiederum entgegengesetzte des Oculars ganz beseitigt werden. Alles kommt hier auf die Brennweiten der Oculare und der Collectivgläser an, sowie auf deren Abstände von einander; sie müssen zusammen ein Huyghens'sches oder negatives Ocular bilden, damit einem positiven Oculare die Krümmung immer verbleibt und aus leicht begreiflichen Gründen niemals ganz beseitigt werden kann. Bei einem der Kellner'schen Oculare finde ich die Brennweite des planconvexen Oculars 20 Millim., jene des biconvexen Collectivglases 32 Millim., und ihren wechselseitigen Abstand 25 Millim. Diese Verhältnisse sind aber, wie es sich von selbst versteht, eigentlich nur dann ganz richtige, wenn man mit dem Oculare ein Objectiv von bestimmter Brennweite und ein Mikroskoprohr von bestimmter Länge benutzt. Nach Kellner selbst besteht das unterste Glas des Oculars, d. h. also das biconvexe Collectivglas, aus zwei unter einander verbundenen Linsen. Das kann man natürlich an dem fertigen Oculare nicht sehen, und noch weniger, ob diese beiden Linsen aus verschiedenen Glassorten bestehen. Für die Hauptsache, nämlich das Mikroskop orthoskopisch zu machen, ist übrigens diese Einrichtung nicht nöthig; man kann dies eben so gut durch ein einfaches Collectivglas erreichen.

§. 195.

Interessant ist noch das Mikroskop von Schiek — (Taf. XXVI, Fig. 3). Das Gestell besteht aus einer Säule A und aus drei Füßen B, C, D. Oben auf der

Säule ist ein Charniergelenk, E angebracht, und mit demselben das dreieckige Stahlblatt mit Stange F verbunden, auf welcher letztern das Support J des zusammengesetzten Mikroskopkörpers, sowie auch das Stativ des Objecttisches ist. Die weitere Stellung wird durch die Schraube H bewirkt, indem dadurch der Körper auf der dreieckigen Stange auf- und abwärts geschoben werden kann. Die feinere Stellung dagegen wird mittelst der Schraube L bewirkt, deren Mutter M mit dem Stativ N verbunden ist, so daß der Objecttisch auf diese Weise gehoben und gesenkt werden kann. Der Spiegel O hat die gewöhnliche Einrichtung.

§. 196.

Das Mikroskop von Pistor in Berlin. — (Tafel XXVI, Fig. 4). Es steht auf drei messingenen Füßen A, B, C, welche zusammengelegt werden können; dieselben tragen eine lange Stahlstange D E, auf welcher die Röhre F mit dem gekrümmten Arm G, mit dem der zusammengesetzte Körper H verbunden ist, durch den Griff J gehoben und gesenkt werden kann, um die weitere Stellung des Instruments zu bewirken. Die feinere Stellung wird durch die Schraube L bewerkstelligt, welche ihrerseits auf eine Schraube am obern Ende der Stahlstange K wirkt, die durch das Messingstück M geht, welches an dem hintern Theile der dreiseitigen Röhre F angebracht worden ist. An dem untern Theile der Stange ist eine Schraube P mit einer Spiralfeder vorhanden und darüber ein anderes Stück Messing R, welches mittelst des Griffes T auf der stählernen Stange verschiebbar ist. Die beiden Stellschrauben N, O dienen dazu, die Messingstücke M, R auf der Stange K festzustellen. Wenn die Stellschraube N gelöst ist, so kann die Röhre F und mit ihr der zusammengesetzte Mikroskopkörper auf der Stange auf- und niedergeschoben werden, so daß dadurch die weitere Stellung bewirkt wird. Wenn aber

die Stahlstange K mittelst der Schraube N an dem Messingstück M befestigt ist, und die Feder P durch das Stück R und die Stellschraube O ausgedehnt worden ist, so kann der Körper mittelst der Schraube L langsam gehoben oder gesenkt werden, und es ist dies die feine Stellung. Das Stativ T ist an der dreieckigen Stange befestigt und hat zwei diagonale Bewegungen mittelst der Schraube V und W, deren Köpfe in 100 Theile getheilt sind. Der Spiegel X hat die gewöhnliche Form und ist am untern Ende der dreieckigen Stange angebracht.

§. 197. Nachet's Mikroskop für chemische Beobachtungen.

Dieses sehr werthvolle Instrument ist in Taf. XXVIII, Fig. 1 dargestellt und besteht aus dem massiven Fuß X, auf welchem das Gestell O befestigt ist. Dieses nimmt die kleine Platte P auf, auf welcher die zu untersuchenden Objecte ihren Platz finden. Da wir bei diesem Instrument die untere Oberfläche der Objecte sehen, so muß die Erleuchtung der oberen Fläche bewirkt werden. Zu dem Ende wird an dem Gestell O die Stange T mittelst einer Hülse und Stellschraube befestigt. Diese Stange trägt den Spiegel M und das Stück D, welches die Diaphragmen, den Polarisations-Apparat u. s. w. hält. Auf dem Fuß X ist der schwalbenschwanzförmige Schieber V befestigt, und in diesem ist das Prisma R enthalten, welches die Röhre A und den Körper C trägt. Wir wollen annehmen, daß ein besonderes Object untersucht werden soll: so wird mittelst der beiden Schrauben B das Prisma R aus der Achse des Instruments entfernt, wie die folgende Figur zeigt; es wird alsdann das Objectivglas auf das Stück F geschraubt, das Prisma wird wieder unter die kleine Platte gelegt und der Focus mittelst der Röhre A und der feinen Stellung F adjustirt. In G (Taf. XXVIII, Fig. 2), befinden sich zwei Schrauben, welche, wenn sie in Berührung kommen,

das gänzliche Hervortreten vor R verhindern. Die Wirkung des Prisma's R besteht darin, das Bild in einer senkrechten Richtung aufzunehmen und es auf die Achse des Körpers C zu reflectiren, welcher das Ocular ohne irgend einen bemerkbaren Verlust von Licht mit sich führt. Wenn ein Object sehr stark erwärmt werden muß, so wird eine größere Platte, deren Kanten man durch kleine Spirituslampen erhitzt, auf die kleine Platte P gelegt. Die mit diesem Mikroskope erlangte Vergrößerungskraft beläuft sich auf 25 bis 500 Durchmesser, und alle zum Studium der Mineralogie erforderlichen Apparate, wie Goniometer, Mikrometer u. s. w., können dabei angewendet werden. Durch den Gebrauch von Säuren, Reagentien u. s. w. können die Linsen der Objectivgläser, da sie unter dem Objectivtische angebracht worden sind, durch die oxydirenden Dämpfe, und ebenso durch die Säuren selbst, nicht beschädigt werden.

§. 198.

Das Mikroskop von Smith, das im Jahre 1851 auf der Londoner Ausstellung den Preis erhielt ist Tafel XXVIII, Fig. 3 u. 4 abgebildet.

Auf einem dreieckigen Fuß A stehen zwei eingeschraubte kurze Säulen B, welche die Zapfenlager der Achse tragen, um die sich das ganze Instrument dreht. Der broncene Arm C trägt den Mikroskopkörper F und hat an seiner innern Kante einen Falz, so daß er zwei messingene Leitstangen aufnehmen kann, die mit dem Körper verbunden sind. Der eine dieser Stäbe, der an den Mikroskopkörper der ganzen Länge nach angelöthet ist, hat einen dreieckigen Querschnitt, und an seiner Scheitellinie ist ein dünnes, plattes Metallstück von entsprechender Länge und ungefähr $\frac{5}{8}$ Zoll breit, sowie $\frac{1}{8}$ Zoll dick, festgeschraubt. Diese Platte ist an der einen Seite, ja zuweilen an allen beiden, mit Zähnen versehen. Sowohl der dreiseitige Stab, als auch die Zahn=

stange greifen in gleichförmige Falzen in dem Arme C. Durch diese Einrichtung wird der Mikroskopkörper mit dem Arme verbunden, während durch die Zahnstange eine gleitende Bewegung des Körpers auf dem Arme mittelst des Getriebes G bewirkt wird. Dies ist die gröbere Stellung. An dem obern Ende des Körpers befindet sich eine auszuziehende Röhre, in welcher die Oculare und Fractionsgläser angebracht sind, wogegen sich an dem untern Ende des Körpers eine kurze Röhre mit den Objectivgläsern befindet. Diese letztere Röhre kann durch die Schraube H etwas gestellt werden, und dies ist die feine Stellung. An der verschiebbaren Röhre sitzt nämlich der Arm I, durch den die Stellschraube K geht, deren Mutter sich in dem festsitzenden Stück J befindet.

Das Stativ dieses Instruments kann entweder mit der gewöhnlichen Stellung von Zahnstange und Getriebe zum Auf- und Niederstellen und mit Schraube ohne Ende zum Hin- und Herstellen, oder es kann mit einer Hebelstellung versehen sein. Die letztere ist auf unserer Abbildung dargestellt. Sie besteht aus drei Messingplatten, von denen die unterste festsitzt, während die beiden obern in schwalbenschwanzförmigen Falzen verschiebbar sind, so daß die obere entweder für sich allein, oder nebst der zweiten, mittelst eines Hebels bewegt werden kann. Man sieht diesen Hebel bei O; er ist ungefähr 5 Zoll lang, und der Arm hat am obern Ende eine bedeutende Metallstärke, um das Gewicht des Objecttisches aufzuheben, während das untere Ende mit einer Kugel versehen ist, die in eine Pfanne Q greift, welche an dem Objecttisch befestigt ist. Ungefähr 1 Zoll höher greift eine andere Kugel in die Pfanne P in einem kleinen Arme, der mit dem Support C C fest verbunden ist. Die schwalbenschwanzförmigen Leitungen der mittleren Stativplatte sind horizontal angebracht, während die der obern Platte eine senkrechte Stellung haben; wenn demnach der Hebel O entweder nach dem Support C oder von demselben weg bewegt wird, so verschieben sich beide Stativplatten horizontal in der entgegengesetzten Rich-

tung; wenn aber der Hebel mit der Linie der Seite desselben Supports bewegt wird, so verschiebt sich blos die obere Platte. Da nun das Ende des Hebels, welches man in der Hand hält, sich in allen Fällen in einer entgegengesetzten Richtung von der der Kugel Q bewegt, und da das zusammengesetzte Mikroskop stets das Bild des zu untersuchenden Gegenstands umkehrt, so wird sich das Object in der Richtung der Hand bewegen. Der Objecttisch ist mit einem Federhalter N versehen, der auf- und niedergeschoben werden kann, und der, indem man ihn auf dem Objecttisch dreht, aber auch stets mit ihm bewegt werden kann. An der untern Seite des Stativs ist die Blendung R angebracht.

Der Spiegel S (Fig. 4) ist sehr groß und an der Röhre W angebracht. Er hat eine ebene und eine concave Reflectionsoberfläche, sein Rahmen wird durch ein halbkreisförmiges Stück T getragen, so daß er sich durch zwei Stifte in demselben drehen kann, während das Gelenk bei U eine horizontale Drehung gestattet, und ein zweites Gelenk bei V dazu dient, um den Spiegel von der Achse des Instruments wegzudrehen, so daß jedes schiefe Licht durch die Oeffnung in dem Stativ durchgelassen werden kann. Außerdem kann der Spiegel an der Röhre W auf- und niedergeschoben werden. In dem Arme C C bemerkt man zwei kleine quadratische Löcher d d, in welche die Supports von dem Seitenreflector, sowie von der kleinen Sammellinse gesteckt und durch die Stellschrauben D, D befestigt werden.

Man kann an diesem Instrumente auch noch ein anderes Stativ anbringen, wilches in Fig. 33 abgebildet ist. A ist ein Theil von dem großen Arme, welcher den Mikroskopkörper trägt, B eine von den Säulen, C die Achse, und D die Röhre, mit welcher der Spiegel verbunden ist. Die Stativplatte E, welche den Objecttisch F trägt, wird durch den Knopf G, der mit einer Schraube verbunden ist, die bis zur entgegengesetzten Seite des Stativs reicht, bewegt. An dieser entgegengesetzten Seite ist ebenfalls ein Knopf angebracht; die

Auf- und Niederstellung geschieht durch Zahnstange und Getriebe mittelst des Knopfes H.

§. 199.

Schließlich betrachten wir noch Varley's zusammengesetztes Mikroskop.

Dieses in England Single Lever Microscope genannte Instrument ist in Taf. XXVI, Fig. 5 in $\frac{1}{3}$ seiner wirklichen Größe dargestellt. Es hat einen hohlen Fuß, der Aehnlichkeit mit einem Vogelfuße hat. Auf diesem Fuße ist eine kurze Säule befestigt, an deren obern Ende eine Messingscheibe a, mit einem Loche in der Mitte, vorhanden ist. Hiermit ist das Mikroskop durch ein starkes Stück Messing b verbunden, und seine Fläche ist so abgedreht, daß sie dagegen paßt; durch die Oeffnung geht eine Schraube, und alle wichtigen Theile des Instruments werden durch die Schraubenmutter c an dem Stücke b festgehalten. Dasselbe ist hohl, und es ist eine lange Stange d hindurchgeschoben, und diese kann mittelst der Stellschraube g in jeder Höhe festgehalten werden. Ebenso ist mit b auch die hintere Platte des Stativs G verbunden und es geht davon der Arm r ab, der in Verbindung mit den kürzeren Armen q, q den Ruhepunkt des Hebels s bildet. Derselbe ist mit 2 Kugeln versehen, deren untere sich zwischen 2 Platten p und der obere zwischen 2 Platten t bewegt. Mit der obern von den letzten beiden ist die Stativplatte h verbunden und mit dieser der Objecttisch y. Der Hebel geht weit genug bis zu dem Tische, auf welchem man operirt, nieder, so daß die auf demselben ruhende Hand ihn ergreifen und das Stativ nach jeder Richtung bewegen kann. Die Bewegungen des Stativs und des Hebels verhalten sich wie 1 : 6. Damit sich beide Seiten der Stativplatten h gleichzeitig bewegen, ist eine Parallelbewegung angebracht, welche man bei w sieht. Der Beobachter kann mit dem Hebel in der Hand den Be-

wegungen des lebenden Gegenstandes folgen. Durch ein Versehen des Künstlers ist der Hebel an der Figur an der unrichtigen Seite angebracht, da er zu rechter Hand befindlich sein muß.

An dem untern Theile der Röhre Z, in welcher die Stange d verschiebbar ist, sieht man den Spiegel, der auf die gewöhnliche Weise eingerichtet ist, und bewegt werden kann. Der Körper des Mikroskops 1 ist mit einem Kasten 2 verbunden und dieser durch zwei Arme 1 mit der Stange d und wird durch eine Schraube und eine Feder fest in seiner Stellung erhalten. An der hintern Seite der Mikroskopröhre ist eine Zahnstange angelöthet, und dieselbe ist durch 2 Sättel 3 mit einer Stange 4 verbunden. Ein Getriebe, in einer Feder, die aus Messingblech besteht, gehalten, bewegt mittelst eines Knopfes der äußern Seite des Kastens 2 den Körper; es wird dadurch die grobe Stellung bewirkt. Durch den obern Theil der Röhre 1 ist derjenige Theil des Körpers verschiebbar, welcher das Ocular enthält, und mit dem untern Ende ist ein gebogener Arm verbunden; durch denselben und durch einen andern gebogenen Arm, der an einer kleinen Röhre sitzt, die sich in der größern verschieben läßt, und die das Objectiv enthält, geht die Stellschraube 12. In der Röhre befindet sich eine Spiralfeder, welche die Röhre herausdrückt, welches durch die Schraube 12 und den Arm 11 verhindert wird. Es wird durch diese Schraube die feine Stellung bewirkt. Eine Sammellinse 27 ist in dem beweglichen Arm 29 mit dem gebogenen Arme 29 verbunden, und das Gelenk 20 gestattet jede entweder senkrechte oder horizontale Stellung, wie es der Zweck gerade erfordert. Man kann das Instrument sehr leicht in einen Kasten legen, indem man die Stange d aus den Supports 7 herausnimmt und das Stativ alsdann vom Körper getrennt ist. Man kann das Instrument auch leicht in eine senkrechte Stellung bringen, um Objecte, die unter Wasser liegen, damit zu untersuchen. Das Instrument kann auch mit Varley's graphischem Ocular versehen werden, wodurch

das Zeichnen vergrößerter Objecte sehr leicht bewirkt werden kann.

§. 200.

Wir müssen noch am Schlusse dieses Kapitels von einem Stative reden, welches neuerlich der Engländer Legg construirt hat. An allen bisher bekannten Stativen befindet sich die Drehungsplatte oberhalb der horizontalen und verticalen Bewegungen; deshalb kann jedes auf die Drehungsplatte gelegte Object aus dem Gesichtsfelde verloren werden, wenn die Platte um ihre eigene Achse gedreht wird. Um dies Hinderniß zu verbessern, hat Legg die Lage der Drehungsplatte verändert, indem er sie unter aller übrigen Bewegung, statt darüber, angebracht hat. Dies ist dadurch bewirkt worden, daß der Drehungsapparat mit der Grundplatte des Stativs durch einen starken schwalbenschwanzförmigen oder conischen Ring, der sich frei, aber fest in derselben bewegt, angebracht hat. Die Bewegung des Drehungsapparats kann entweder mit der Hand oder mit einer Schraube ohne Ende bewirkt werden. Auf dem Ringe ist die Platte, welche als Stativ dient, angebracht, und ihre Bewegung wird durch die Knöpfe zu beiden Seiten des Stativs bewirkt; die Seitenbewegung durch eine Schraube in einem mit der Schieberplatte verbundenen Ringe und die senkrechte durch Zahnstange und Getriebe, indem die Zahnstange an der untern Seite des Objecttisches befestigt ist. Das Ganze ist so eingerichtet, daß die Bewegung durch die ganze Ausdehnung des Kreises geht, und zwar unter dem Mikroskoparme durch, so daß derselbe durchaus kein Hinderniß ist.

Dieses verbesserte Stativ sehen wir in Taf. XXIX. Fig. 1 mit einem Mikroskop von Smith und Beck verbunden: a ist ein Theil des Arms, welcher den Körper des Mikroskops b trägt; c ist die feine Stellung, d die Röhre mit dem Objectivglase, ee′ die Schrauben

köpfe zur Bewegung des Stativs, deren deshalb 2 angebracht sind, um diejenige Hand nehmen zu können, die der Beobachter eben frei hat; f f die Federn, welche die Objecte halten; g der Ring, welcher sich auf der Grundplatte a dreht. Wenn daher der Gegenstand zwischen den Federn f f befestigt ist, so kann er gedreht werden, und wenn das Instrument gut gearbeitet ist, so wird er nie aus dem Gesichtsfelde kommen, oder doch nur so wenig aus demselben, daß die geringste Stellung ihn zu dem Centrum zurückführen wird. Es soll diese Einrichtung besonders dann zweckmäßig sein, wenn man Krystalle im polarisirten Licht, oder überhaupt Objecte mit geradlinigten Umrissen, seien sie undurchsichtig oder durchsichtig, untersuchen will, indem es hierbei darauf ankommt, daß der Schatten nach verschiedenen Richtungen fällt, ohne daß der Beleuchtungsapparat seine Stellung verändert.

§. 201. Multoculäre Mikroskope.

Nach Harting ist die Theorie der binoculären Mikroskope folgende:

Es sollen in Taf. XXV, Fig. 6, A und B die beiden Hälften einer Linse vorstellen und abcd soll ein Object von einer bestimmten Dicke sein. Die beiden Linsenhälften werden dann Strahlen von der ganzen Oberfläche ab bekommen: von der Seite ac werden keine Strahlen zur Hälfte B gelangen, wohl aber zur Hälfte A, und umgekehrt empfängt B allein jene Strahlen, welche von bd ausgehen. Wenn also auch die besondern Bilder eines mikroskopischen Objects, welche durch die einzelnen Theile einer Linse erzeugt werden, größtentheils einander gleich sind, und wenn namentlich in beiden alle jene Strahlen enthalten sind, welche von der gerade im Focus liegenden Oberfläche ausgehen, so verhält es sich doch anders mit den Rändern, also mit jenen Theilen des Objects, woran man dessen Körperlich-

keit erkennt. Deshalb fehlt dem Bilde immer jener Theil, von welchem keine Strahlen zum Linsenabschnitte gelangen, der das Bild formt. Betrachten nun beide Augen zu gleicher Zeit die zwei verschiedenen Bilder, deren jedes durch eine Linsenhälfte entstanden ist, dann werden diese bei gehöriger Convergenz der Augenaxen auf einander projicirt und zu einem Gesammtbilde vereinigt werden, woran die Merkmale der Körperlichkeit, nämlich Höhe und Tiefe, in höherem Maße vorkommen als an jedem einzelnen der beiden Bilder. Man würde hier vielleicht den Einwurf erheben können, daß in jenem Bilde, welches durch die ganze Linse gebildet wird, bereits alle Theile enthalten sein müssen, welche einem jeden einzelnen Bilde angehörig sind, und daß man daher schon mit einem Auge ein mikroskopisches Object stereoskopisch müsse sehen können, was doch nicht der Fall ist. Man halte aber dabei fest, daß das Projiciren der Bilder auf einander eine active Handlung ist, die sich dem Bewußtsein durch eine deutliche Wahrnehmung der Körperlichkeit des Objects offenbart, und insofern dem stereoskopischen Sehen mit beiden unbewaffneten Augen entspricht, wo der nämliche Gegenstand durch jedes Auge in einer etwas verschiedenartigen Richtung gesehen wird, beiderlei Wahrnehmungen aber zu einer einzigen zusammenschmelzen und den Eindruck des körperlichen machen.

§. 202. Spaltung eines Lichtstrahlenbündels.

Es giebt eine nicht geringe Anzahl von Mitteln, wodurch die erzielte Spaltung des Strahlenbündels erreicht werden kann.

Die katoptrische Einrichtung zur Spaltung der Strahlenbündel kann auf verschiedene Art gemacht werden.

1) Man bewirkt, wie Tafel XXV, Fig. 7 zeigt, zwei Reflexionen auf vier spiegelnden Oberflächen cd und ab, ed und fg, die abwechselnd so gestellt werden, daß sie mit der Axe des Objectivs L Winkel von 45° und 135° bilden, also zwei und zwei einander parallel sind.

2) Statt der vier rechtwinkeligen Prismen braucht man auch blos zwei rautenförmige, ebldc und edlgf, wie die Figur (Taf. XXVII, Fig. 2) zeigt, zu nehmen, die offenbar den nämlichen Zweck erfüllen.

3) Zwei rechtwinkelige Prismen wie Taf. XXV, Figur 8, als auch Taf. XXV, Fig. 9, oder wie Nachet 3 gleichseitige Prismen in Taf. XXVII, Fig. 3.

§. 203.

Hierauf nun beruht die Construction von Nachet's binoculärem Mikroskop (Taf. XXIX, Fig. 8), das auch wenn die Röhre c gerade ist, für einen Beobachter ein stereoskopisches Bild liefert. Im Kästchen a ist das dreieckige Prisma über dem Objectiv enthalten. Die beiden andern, wodurch die Strahlen zum zweiten Male reflectirt werden sollen, befinden sich bei b und b'. Bei c ist einer der Knöpfe sichtbar, die zum Einstellen des Oculars bestimmt sind, indem das innerste Rohr hin- und hergeschoben wird.

Ebenso sind von Nachet trioculäre und von Harting quadrioculäre Mikroskope construirt, deren Glaspyramide Steinheil geschliffen hat.

§. 204. Das pankratische Mikroskop.

Die Umkehrung, welche alle Bilder im zusammengesetzten Mikroskope erfahren, hat auf die Richtigkeit der Beobachtung allerdings gar keinen Einfluß; gleichwohl ist dieselbe sehr störend in jenen Fällen, wo man genöthigt ist, die Objecte unter dem Mikroskope zu präpariren.

Man gelangt nun zur Umkehrung, wenn man ein Prisma so stellt, wie A in Taf. XXVII, Fig. 4, daß die Hypotenusenfläche mit der optischen Axe des Mikroskops parallel ist, dann werden die Strahlen a, b, c, d

beim Eintritte in dasselbe gebrochen und hierauf bei d′, c′, b′, a′ an der Hypotenusenfläche reflectirt werden, so daß sie nach a″, b″, c″, d″ gehen. In dieser Stellung kann nun ein solches Prisma in dem Rohre des Mikroskops oder vor dem Ocular angebracht werden, und wenn in diesem Mikroskope schon ein reflectirendes Prisma vorhanden ist, dann kann der Beobachter in der nämlichen Richtung wie früher sehen, d. h. horizontal, wenn das Prisma ein rechtwinkeliges ist, oder unter einem solchen Winkel stattfindet.

Nachet construirte ein Prisma wie Taf. XXVII, Fig. 5. Dieses sieht man in schiefer Richtung von der einen Seite und oben. Die punktirten Linien bezeichnen die nicht sichtbaren Kanten. Die unterste Fläche baikf läßt die aus dem Oculare kommenden Strahlen hindurch. Die Flächen abcd und efbc sind die reflectirenden. So werden die Strahlen von rechts nach links und umgekehrt von links nach rechts geworfen, und dadurch kommt eine vollständige Umkehrung des Bildes zu Stande. Durch die oberste Flächeceghd treten die also reflectirten Strahlen wieder heraus, und fallen in das Auge des Beobachters. Die übrigen Flächen aihd, ghik und egkf sind ohne Einfluß auf die optische Wirkung des Prisma, das nur so weit abgeschliffen ist, um es nicht ohne Noth größer zu haben. Die obere Fläche ceghd und die untere Fläche baikf treten unter einem Winkel von 58° auf einander; die Flächen abcd und efbc vereinigen sich unter einem von $81\frac{1}{2}$°.

Dieses Prisma ist in ein Kästchen eingeschlossen, welches unten einen Ring hat, der auf das Ocular paßt.

Auf diese Art ist es also möglich, nicht nur das Bild wiederum in die Richtung zu bringen, welche das Object ursprünglich hatte, sondern zugleich auch die Vortheile zu sichern, welche die verticale oder nur wenig davon abweichende Stellung des Mikroskops für das Präpariren auf dem Objecttische darbietet. Auch bleibt die Verbesserung der Aberrationen die nämliche, weil keine größere Anzahl convexer Glasoberflächen in An-

wendung kommt. Nur haben dergleichen Prismen die nämliche nachtheilige Wirkung auf den Gang der Strahlen, wie die Benutzung sehr dicker Deckgläser haben würde.

§. 205. Bildumkehrung auf dioptrischem Wege.

Auch auf dioptrischem Wege kann man eine Bildumkehrung erlangen. Es ist z. B. A und B Taf. XXVII, Fig. 6 ein gewöhnliches Doublettensystem aus aplanatischen Linsen, dem man natürlich den Vorzug vor einer einzelnen Linse giebt, weil es hier von hoher Wichtigkeit ist, daß das Luftbild in allen seinen Theilen möglichst vollkommen einem wahren Objecte gleiche. Die Ueberverbesserung dieses Systems braucht deshalb auch nur unbedeutend zu sein, das Object a b, wenn es in gehöriger Entfernung vom Brennpunkte p befindlich ist, wird alsdann in b' a' ein umgekehrtes Bild erzeugen. Fällt nun dieses Bild vor ein zweites Objectivsystem C und D, so wird ein neues Bild a'' b'' entstehen, welches die ursprüngliche Stellung des Objects hat. Fängt man dann dieses Bild auf einem Schirme auf, so hat man ein bildumkehrendes Bildmikroskop, oder betrachtet man dasselbe durch ein gewöhnliches Ocular, so hat man ein bildumkehrendes zusammengesetztes Mikroskop.

Ist das System CD das Objectiv eines zusammengesetzten Mikroskops, so muß natürlich für das nämliche Auge die Entfernung des Bildes b' a' von der Unterfläche der Doppellinse D unverändert bleiben. Damit nun die Vergrößerung verändert werden könne, muß jedes der beiden Systeme AB und CD in ein besonderes Rohr gefaßt sein, die über einander gleiten. Wird der Abstand beider Systeme von einander vergrößert, so wird auch das Bild b' a' an Größe zunehmen, umgekehrt dagegen abnehmen, wenn man die beiden Systeme einander nähert; fallen endlich die Brennpunkte beider zusammen, so daß sich kein Bild mehr dazwischen formt, dann

ist die Vergrößerung natürlich Null. Die Entfernungen der Brennpunkte beider Systeme bestimmen also einerseits die Grenze der Bewegungsausdehnung, die andere Grenze aber wird ebensowohl durch die Unbequemlichkeit bestimmt, welche mit einer zu großen Länge des Instruments verbunden ist, als dadurch, daß die Bilder bei zunehmender Vergrößerung an Schärfe verlieren.

Um das Angeführte durch ein Beispiel zu erläutern, nehmen wir an, das zusammengesetzte Mikroskop, bei welchem das System CD die Stelle des Objectivs vertritt, soll für sich allein gebraucht den Durchmesser eines Objects 25mal vergrößern. Wir nehmen ferner an, die Brennweite des vordern Systems betrage 10 Millim. und beide über einander gleitende Rohre haben eine Bewegungsextension von 35 Millim., so daß das Bild bei stärkster Annäherung beider Systeme 15 Millim. und bei stärkster Entfernung beider von einander 50 Millim. hinter den optischen Mittelpunkt des Systems AB fällt. Für den ersten Fall wird dann das Bild $\frac{15-10}{10} = 0{,}5$ so groß als das Object sein, und die gesammte Vergrößerung ist $= 25 \cdot 0{,}5$ oder 12,5. Die Entfernung vom Objecte aber ist $= \frac{10 \cdot 15}{15 - 10} = 30$ Millim. Im andern Falle wird das Bild $\frac{50 - 10}{10} = 4$mal größer sein als das Object, und die Gesammtvergrößerung ist dann $25 \cdot 4 = 100$. Das Object aber ist $\frac{10 \cdot 50}{50 - 10}$, d. h. 12,5 Millim. vom optischen Mittelpunkte des vordern Systems entfernt. Zwischen 12,5 und 100, als den beiden Extremen, liegen dann die übrigen Vergrößerungen. Es ist klar, daß jedes gewöhnliche zusammengesetzte Mikroskop temporär in ein pancratisches umgewandelt werden kann, wenn man statt eines gewöhnlichen Objectivsystems ein pankratisches System anwendet.

§. 206. Umkehrung des Bildes im Ocular.

Man kann jedoch auch die achromatischen Doppellinsen entbehren und die Umkehrung in das Ocular versetzen, ähnlich wie beim Teleskop. Es ist die Linse A ein gewöhnliches Collectivglas, welches wie in jedem andern Falle die Strahlen, welche vom Objective kommen, zu einem verkehrten Bilde b a vereinigt. (Taf. XXIX, Fig. 4). Befindet sich nun das Object in der erforderlichen Entfernung vom Objectiv, so wird dieses Bild in eine solche Entfernung von der zweiten Linse B kommen, daß in nicht zu weiter Entfernung dahinter in a'b' ein zweites, jetzt aber umgekehrtes Bild entsteht, welches durch das Ocular C vergrößert angeschaut werden kann. Ein solches bildumkehrendes Ocular, wie es Taf. XXIX, Fig. 4 dargestellt ist, kann man sich demnach so denken, als bestände es aus einem gewöhnlichen Huygens'schen Ocular A und B nebst einem Augenglase C. Dabei sind aber noch verschiedene Modificationen möglich. Statt das umgekehrte Bild durch das letztere Glas allein zu betrachten, kann man es durch ein Huygens'sches Ocular betrachten, oder wegen des größeren Feldes noch lieber durch ein Ramsden'sches Ocular, (wahrscheinlich wird ein Herschel'sches aplanatisches Doublet dem Zwecke hier nach besser entsprechen) wie es Taf. XXIX, Fig. 5 dargestellt ist, wo a'b' das umgekehrte Bild darstellt, welches sich vor der vordern Linse eines Oculars dieser letztern Art befindet. Hieraus ergiebt sich denn auch, daß jeder, der bei seinem Mikroskope zwei Oculare besitzt, sein Instrument in ein bildumkehrendes verwandeln kann, wenn er mit Hülfe eines vereinigten Rohrs das eine Ocular in eine gewisse Entfernung oberhalb des andern bringt. Allerdings werden sich alsdann die Bilder nicht in der Schärfe und so frei von Aberration darstellen, wie beim Betrachten durch ein Ocular; das ist aber auch weniger nöthig bei dem practischen Zwecke, den man vor Augen hat, die Objecte nämlich

zum Behufe einer nähern genauen Untersuchung zu präpariren. Das pankratische Princip kann übrigens hier auch in Anwendung kommen; wenn man in Taf. XXIX, Fig. 4 die Linse C, in Taf. XXIX, Fig. 5 das zweite Ocular CD von der Linse B entfernt, dann nimmt die Vergrößerung zu, und sie nimmt dagegen ab, wenn man die Linsen einander nähert. Verbindet man jedoch gewöhnliche Oculare unter einander, dann wird der Unterschied bei einem gleichen Maße der Verlängerung nicht so bedeutend sein, als wenn ein pankratisches Objectiv genommen wird, weil die Brennweiten der nicht verbesserten Linsen der erstern länger sein müssen.

Auf diesen Principen beruhen die Mikroskope von Chevalier mit einem Prisma von Nachet, das unter dem Prisma noch 4 achromatische Doppellinsen hat

Objectiv.	Vergrößerung.	Abstand der Unterfläche d. Objectivs vom Objecte.
Eine Doppellinse . .	20	48 Millim.
Zwei Doppellinsen .	50	17
Drei Doppellinsen .	92	8
Vier Doppellinsen .	104	5

und von Oberhäuser.

§. 207.

Von den Beleuchtungsapparaten der Objecte führen wir zunächst den Beleuchtungsspiegel an.

Die Form des ebenen Spiegels ist gleichgültig; der Hohlspiegel dagegen muß natürlich rund sein. Was die Größe betrifft, so ist ein zu großer Durchmesser von etwa 10 bis 15 Centimeter nicht gerade schädlich, aber doch überflüssig, da ja doch immer nur ein kleiner Theil der reflectirten Strahlen wirklich in Anwendung kommt.

Die Verbindungsweise des Spiegels mit dem übrigen Apparate ist durchaus nicht gleichgültig. Es versteht sich von selbst, daß er unter verschiedenen Winkeln

muß gestellt werden können, wenn er das auffallende Licht auf das Object reflectiren soll. Wie schon erwähnt, muß er aber das Licht nicht blos senkrecht, sondern in allen Richtungen auf das Object reflectiren, und er muß dann wiederum auf zuverlässige Weise in jene Stellung zurückgebracht werden können, welche man als die normale ansehen darf, wo nämlich der Mittelpunkt des Spiegels in der Axe des ganzen Mikroskops liegt.

Damit das Licht in verschiedenen Richtungen auf das Object geleitet werde, ist es übrigens nicht nöthig, daß der Spiegel nach allen Richtungen beweglich ist, was auch schwer mit der Einrichtung zur genauen Centrirung zu vereinigen wäre; zudem ist es auch überflüssig, weil das Object selbst in einer Fläche sich herum bewegen läßt und seine verschiedenen Ränder dem Lichte darbieten kann. Es genügt deshalb vollkommen, wenn der Spiegel eine Seitenbewegung ausführt, so daß die optische Axe des Mikroskops immer in der Drehungsebene verbleibt, in welcher die Bewegung stattfindet.

Der hierzu erforderliche mechanische Apparat gestattet mancherlei Modificationen, deren Aufzählung nicht hierher gehört. Zur Erläuterung des Angeführten genügt, daß das genannte Ziel am einfachsten erreicht werden kann, wenn man den Bügel, worin der Spiegel um seine Axe sich bewegt, an einen Querarm oder an eine Kurbel befestigt, die sich um das eine Ende dreht, aber so, daß die Bewegung nur nach der einen Seite hin stattfinden kann, und nach der andern Seite alsbald gehemmt wird, sowie der Mittelpunkt des Spiegels sich wiederum in der optischen Axe befindet.

Zu einer guten Beleuchtung ist es nicht erforderlich, daß der Spiegel auf- und niederbewegt werden kann, und daß sich somit der Abstand zwischen dem Objecttische und dem Spiegel verändert. Ist der Objecttisch, wie es wünschenswerth ist, unbeweglich, dann ist es zweckmäßiger, auch den Spiegel stets in der nämlichen Höhe zu behalten, da der Zweck, der allein durch eine solche Ortsveränderung erreicht werden könnte, nämlich

Verstärkung oder Verminderung der Lichtintensität, nicht durch den Spiegel, sondern durch andere Mittel erzielt werden muß.

§. 208.

Brewster benutzte den Taf. XXIX, Fig. 6 abgebildeten Apparat. Hier ist abcd eine innen geschwärzte Röhre, die 1½ bis 2 engl. Zoll lang ist. Dieselbe hat bei ef eine Oeffnung und muß durch ein Gelenk oder sonst auf eine Weise mit dem Objecttische verbunden sein, so daß die Axe der Röhre zwischen 90°, als der gewöhnlichen Stellung, und 60° oder noch weniger geneigt sein kann, je nachdem es die Umstände erfordern. Ueberdies muß sie sich um ihre Axe drehen können. In der Röhre befindet sich das Doublet gh und ik, welches aberrationsfrei ist und ½ bis 1 Zoll Brennweite hat; dasselbe läßt sich durch einen Trieb höher und tiefer stellen, so daß sein Brennpunkt für parallele Strahlen oder der Vereinigungspunkt der divergirenden Strahlen gerade auf o fällt, wo das zu untersuchende Object liegt. Etwas unterhalb befindet sich ein ebener Metallspiegel pq, welcher das durch die Oeffnung ef eindringende Licht zum Doublet reflectirt.

Bei der Beleuchtung mit künstlichem Lichte benutzt Brewster noch ein zweites Doublet rs und vt. Die Lichtflamme befindet sich in dessen Brennpunkte l und damit wird erreicht, daß ein Bündel paralleler Strahlen auf den Spiegel fällt, zwischen die Flamme und dieses Doublet kommt noch ein Diaphragma xy mit verschieden großen Oeffnungen. Bei kreisförmigen Objecten giebt er runden Oeffnungen den Vorzug, bei gestreiften Objecten nimmt er lieber spaltenförmige Oeffnungen. Zur Beseitigung der chromatischen Aberration schlug er zwei Wege vor, entweder die Beleuchtungslinsen achromatisch zu machen, oder einfarbiges Licht zu verwenden.

§. 209.

Dujardin modificirte den Apparat, indem er das Licht durch einen Spiegel oder durch ein Prisma auffing. Dasselbe wird dann concentrirt durch ein Objectivsystem aus zwei oder drei achromatischen Doppellinsen, deren ebene Flächen nach aufwärts sehen. Die Entfernung vom Objecttische ist eine veränderliche, damit der Brennpunct gerade aufs Object trifft. Um das Licht abzuhalten, welches nicht zur Beleuchtung des Objects dient, sind zwei Diaphragmen angebracht, das eine vor dem Spiegel oder dem Prisma, das andere unter der das Object einschließenden Röhre.

Complicirter ist der Beleuchtungsapparat von Harting, mit dem man folgende Beleuchtungsweisen ausführen kann:

1) mit gewöhnlichen parallelen Strahlen;
2) mit concentrirtem parallelem Lichte;
3) mit divergirendem Lichte von verschiedenen Divergenzgrade;
4) mit convergirendem Lichte von verschiedenem Convergenzgrade;
5) mit schief einfallendem Lichte, und zwar unter verschiedenen Einfallswinkeln, bei parallelen sowohl als bei convergirenden oder divergirenden Strahlen;
6) mit Axenstrahlen, unter Ausschluß von mehr oder weniger vielen Randstrahlen;
7) mit Randstrahlen, unter Ausschluß von mehr oder weniger vielen Axenstrahlen.

Nicht minder geistreich ist der angebrachte Beleuchtungsapparat von Wenham. Er klebt an das Objectglas durch Canadabalsam ein rechtwinkeliges Prisma und legt darüber ein Deckplättchen, so daß das Object zwischen Deckplättchen und dem Objectglase liegt. Zwischen diesen beiden muß sich aber immer Flüssigkeit, am besten Terpentinöl oder Canadabalsam befinden, weil

sonst schon die Strahlen an einer der Grenzflächen total reflectirt werden, ehe sie noch zur obern Fläche des Deckplättchens gelangen. Hat aber die ganze durchsichtige Masse vom Prisma bis zum Deckplättchen einen fast gleichen Brechungsindex, dann wird ein Strahlenbündel, welches eine Seite des Prisma's trifft, seinen Weg bis zur obern Fläche des Deckplättchens fortsetzen. — Natürlich kann die Beleuchtung verstärkt werden, wenn das einfallende Licht durch einen Hohlspiegel eine concave Linse oder durch ein kugelförmiges dreiseitiges Prisma convergirend gemacht wird. —

Wenham hat noch zwei andere Methoden angegeben die durch die beleuchtenden Strahlen von allen Seiten auf das Object geworfen werden sollen, einmal dadurch, daß er eine halbkugelige Linse mit einem parabolischen Reflector verband und dann, daß er direct ein gläsernes Paraboloid anwandte. Indem er also unten ein solches gläsernes Paraboloid anbringt, setzt er in den Scheitel desselben eine halbkugelige Linse, an der ein Segment so abgeschliffen ist, daß der übrigbleibende Theil etwa $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser der Kugel ist.

Die abgeschliffene Fläche ist schwarz, damit nicht Licht in das Mikroskop direct gelange, die Krümmung der Linsenoberfläche entspricht einem Radius von circa $\frac{2}{10}$ Zoll englisch. Die auffallenden Strahlen werden nun an dem Paraboloid gebrochen, reflectirt und beleuchten, indem sie sich auf denselben Punkt vermittelst des Linsenstücks concentriren, das Object. Dasselbe erlangt man durch eine parabolische Linse allein, deren Spitze man abgenommen hat. Man erreicht durch sie den Zweck, daß die Strahlen in einem Punkte vereinigt werden, was nicht in dem Grade der Fall sein würde, wenn man statt ihrer sphärische Oberflächen benutzen würde.

Eine andere Beleuchtungsweise der Objecte gehört mehr der Neuzeit an, es ist die durch polarisirtes Licht. Da in der Folge (von §. 219 ab) ausführlich über die Erscheinungen der Polarisation gesprochen wird, so

erwähnen wir hier nur kurz, daß man sich gewöhnlich, wie es schon Fox Talbot zuerst gethan, zweier Nicol-Prismen bedient, von denen das eine in die Oeffnung des Objectivtisches, das andere auf's Ocular kommt. Indeß macht sich durch diese Einrichtung ein Lichtmangel fühlbar, dem nach Chevalier dadurch abgeholfen wird, daß das oberste Prisma unmittelbar über das Objectiv, oder da hier die Drehung schwierig ist, nach Harting unmittelbar unter das Ocular angebracht wird. — Amici wendet statt des untern Prismas acht bis zehn Glastäfelchen, die unter dem Polarisationswinkel geneigt sind, an und läßt auf sie von einem Spiegel, der ebenfalls geneigt ist, Licht auffallen, das nun durch die Glastäfelchen auf den Objectivtisch fällt. Als zweites Prisma (Analysator) wird ein Kalkspathrhomboëder angewendet, das über dem Mikroskoprohre sich befindet. Dieses Rohr kann sich um seine Axe drehen und ein daran befestigter Zeiger giebt an einem Kreise den Winkel an, welcher durch den Hauptschnitt des Rhomboeders mit der ursprünglichen Polarisationsebene gebildet wird. —

Von den Mikrometern erwähnen wir hier nur die Robert'schen Probetäfelchen, die ausführlicher, da ihre Erscheinung mit in das Kapitel der Interferenz gehören, von §. 214 ab erwähnt sind. Das Princip ist ein altes, das schon eigentlich durch Robert Hooke angedeutet wurde, nämlich wenn man mit dem einen Auge durchs Mikroskop nach dem Object sieht und mit dem andern auf einen getheilten Maßstab, so wird man, falls die Vergrößerung des Mikroskops bekannt ist, die Größe des Objects leicht daraus berechnen lassen. Man hat dieses Verfahren nun modificirt, und da man genau die Vergrößerung des Instruments bestimmen kann, so hat man die fein getheilten Glastäfelchen in das Ocular gesetzt. Will man nun den Durchmesser des Sehfelden genau messen, so ist zunächst das Intervall zwisches zwei nächsten Theilstrichen des Mikrometers z. B. 0,01 Linie festzustellen, und erblickt man nun etwa 250 solcher

Intervalle, im Durchmesser des Sehfeldes, so beträgt dieser Durchmesser 2,5 Linien. Will man aber die Größe des Objects bestimmen, so hat man, um nur die practische Regel anzuführen, die Anzahl der Linien, welche das Bild einnimmt, durch die Vergrößerungszahl zu dividiren. Also zeigt sich das Bild 3''' groß, und ist die Vergrößerung, die man anwendet 40mal, so hat das Object einen wahren Durchmesser von $\frac{3}{40} = 0{,}075'''$. Man sieht nun wohl ein, daß man sehr kleine Objecte messen kann, da die Methoden der Glastheilung, welche durch Martin, Brander, Barton, Ramsden und Dollond eingeführt wurden, durch Nobert sehr übertroffen sind. — Statt der ältern Vergrößerungsbestimmungeu weisen wir auf die neueren Methoden von Moser (§. 170) und Merz (§. 171) hin, die sich immer practisch bewähren werden; nur eins wollen wir hier noch hervorheben und der Beobachtung empfehlen. Obwohl wir von Nobert einige Mittheilungen kennen und wissen, daß er zu seinen Theilungen eine Kreistheilmaschine benutzt, so hat er doch einen Theil seiner Methode geheim gehalten. Es wäre deshalb nicht unwichtig an die Theilmaschine von Peters zu erinnern, die den Transact. of the Microscop Society 1855 Nr. 12 pag. 55 ausführlich beschrieben worden ist und die im Allgemeinen auf einem practisch combinirten Hebelsysteme beruht, wodurch die Demantspitze so sehr verlangsamt wird, daß die Bewegungen linear 110 bis 6250 mal oder quadratisch 1200 bis 3900000 mal kleiner sind, als die Bewegungen der Hand. Carpentier hat auf diese Weise Striche von $\frac{1}{1150}$ Zoll früher hervorgebracht. —

Das Ramsden'sche Ocular-Schraubenmikrometer besteht aus einer abgeplatteten länglich vierseitigen Röhre mit zwei Spinnenfäden im Innern: der eine dieser Fäden ist fest, der andere wird durch eine Schraube bewegt, die mit einem getheilten Zeigerblatte versehen ist. Ueber jener vierseitigen Röhre befindet sich eine kurze Röhre mit einem positiven Oculare, welches so gestellt

werden kann, daß man die beiden Spinnefäden und zugleich auch jenes durch's Objectiv hervorgebrachte Bild deutlich sehen kann. Um die Anzahl der vollständigen Drehungen der Schraube zu kennen, geht ein sägeförmig gezahnter Streifen durch's Gesichtsfeld, so daß jedes Zähnchen einer Schraubenumwindung entspricht. Das untere Ende des Rohres hat nun die Bestimmung, das Mikrometer in das Mikroskoprohr zu schieben. —

Die Mikrometerfäden werden aus verschiedenen Substanzen gefertigt. Wir erwähnten schon Spinnenfäden. Sie sind in der neuesten Zeit von Brewster auch durch Glasfäden ersetzt; nur ist es schwer ihnen eine Dicke von $\frac{1}{500}$ Millim. zu geben. Goring will Fäden aus Kautschuck, der in Terpentin gelöst ist, sehr brauchbar gefunden haben. Welker bringt ein Tröpfchen Canadabalsam auf zwei Punkte des Diaphragmarandes, zwischen denen ein Faden gezogen werden soll, steckt einen Stecknadelknopf in eins der Tröpfchen und zieht nun vom Rande aus des einen zum andern ein Fädchen. Wollaston benutzte einen feinen Platindraht, den auch Schiek zu seinen Mikroskopen benutzt.

Wir übergehen hier die andern Mikrometer, da wohl alle mit Ausnahme der angeführten immer mehr und mehr verschwinden werden. So wird das Ocularschraubenmikrometer nur noch in England benutzt, tritt aber auch hier immer mehr in den Hintergrund. Die Methode von Wollaston, — die dahin geht, daß, wie beim Doppelsehen das vergrößerte Bild und ein Maßstab gleichzeitig mit beiden Augen angesehen werden, somit gleichzeitig durch ein Auge vor das vergrößerte Bild und der getheilte Maßstab beobachtet werden — ist höchst unpractisch und nicht zu empfehlen. Ebenso ist das von Brewster vorgeschlagene Princip unstatthaft, indem er die Linsen so einrichtete, daß man Objecte, die sich in verschiedenen Entfernungen befinden, gleichzeitig dadurch sehen kann. Auch sein Rotatory micrometer with points ist unvollkommen, weil einmal die Messungen damit nicht fein genug sind, und weil das Object

an den Rand des Gesichtsfeldes gebracht werden muß, wo die Bildschärfe verschwindet. —

Wir wenden uns nun noch schließlich an ein namentlich in der Neuzeit noch immer vielfach angewendetes Instrument an.

§. 210. Das Sonnenmikroskop und das Gasmikroskop.

Die zwei in der Aufschrift genannten Instrumente haben in ihrem optischen Theile gleiche Construction und weichen nur in dem zu ihrer Beleuchtung verwendeten Lichte von einander ab. Sie stehen in Hinsicht auf ihre optische Beschaffenheit in der Mitte zwischen dem einfachen und zusammengesetzten Mikroskope, insofern dieselben, wie das einfache Mikroskop, blos aus einer einfachen Linse oder einem aus mehren Linsen zusammengesetzten Objectivsysteme bestehen, diese aber nicht, wie beim einfachen Mikroskope, zur unmittelbaren Betrachtung des Objects, sondern zur Entwerfung eines Bildes verwendet werden, welches Bild aber nicht, wie beim zusammengesetzten Mikroskope, durch ein Ocular angesehen, sondern auf einem weißen Schirme aufgefangen und von seiner vordern Seite aus mit dem bloßen Auge betrachtet wird. Um dem Bilde eine beträchtliche Größe zu ertheilen, wird dasselbe in sehr bedeutender Entfernung (etwa in 10 — 20 Fuß) hinter der vergrößernden Linse aufgefangen, und es wird, um dem Bilde noch hinreichende Helligkeit zu ertheilen, das Object durch ein höchst concentrirtes Licht beleuchtet. Es verhalten sich diese Mikroskope zum zusammengesetzten Mikroskope wie die Camera obscura zum Fernrohre.

Die Einrichtung des optischen Theiles dieser Mikroskope ist eine höchst einfache, dagegen ist ihr Beleuchtungsapparat complicirt und voluminös und der Gebrauch des Instruments mit vielen Umständen verknüpft.

Der Gebrauch des Sonnenmikroskops setzt ein Zimmer voraus, welches eine gewisse Zeit des Tages über

dem directen Sonnenschein ausgesetzt ist, also am besten eine südliche Lage hat. Die Fenster desselben müssen mit dichtschließenden Laden versehen werden, so daß jedes nicht durch das Mikroskop eindringende Licht ausgeschlossen wird. In einen dieser Laden wird das Mikroskop eingesetzt, und das zur Beleuchtung des Objects dienende Sonnenlicht durch einen vor dem Laden befindlichen Spiegel (Taf. XXIX, Fig. 2) aufgefangen. Dieser Beleuchtungsspiegel muß eine bedeutende Größe (etwa 4 bis 5" Breite und 1" Länge) besitzen, um auch bei tiefstehender Sonne eine große Lichtmasse auffangen und in's Mikroskop reflectiren zu können. Um dieses bei jedem Stande der Sonne thun zu können, besitzt der Spiegel eine doppelte Bewegung. Es ist nämlich mit seinem unteren Ende auf einem mit der Mikroskopröhre concentrischen, durch einen Trieb um die Achse des Mikroskops drehbaren Kreise befestigt und zugleich durch eine Schraube ohne Ende k, welche in ein an seiner Basis befindliches gezahntes Rad i eingreift, in beliebigem Winkel gegen die Mikroskopachse zu neigen. Das vom Spiegel reflectirte Sonnenlicht wird durch eine große (3 bis 5" breite) Sammellinse gg zu einem Focus concentrirt; um ein noch intensiveres Licht zu erhalten, kann man vor den Focus dieser Linse noch eine kleinere Sammellinse d stellen und so das Licht zu einem kleinen Sonnenbilde concentriren. Diese zweite Linse ist in eine zum Verschieben eingerichtete Röhre c gefaßt, um den Lichtgrad modificiren zu können. Im Focus dieser zweiten Linse befindet sich ein mit Federn versehener Objectträger f, welcher eine senkrechte Stellung hat, zur Aufnahme der zwischen Glasplatten eingeschlossenen Objecte. Hinter diesem Objecttische befindet sich der Vergrößerungsapparat, welcher aus einer durch ein Triebwerk (in dieser Zeichnung ist sowohl dieser Trieb, als der zur Bewegung in der Röhre c dienende weggelassen) einzustellenden Linse e besteht. Für zweckmäßiger erklärt es Goring, nicht die vergrößernde Linse gegen den Objectträger, sondern umgekehrt diesen gegen die Linse

beweglich zu machen, indem diese Einrichtung für die Beleuchtung bequemer sei, da man das hellste Licht erhalte, wenn der Focus des Beleuchtungsapparats auf die Oeffnung der Linse falle und bei dieser Einrichtung durch das Einstellen des Mikroskops die Beleuchtung nicht geändert werde.

Als Vergrößerungslinse benutzt man in den neuern Zeiten immer achromatische Linsen oder Linsensysteme. Man kann zu denselben die Objecte eines achromatischen Mikroskops benutzen; doch scheint es, da das Bild in großer Entfernung hinter der Linse aufgefangen wird, zweckmäßiger zu sein, Objective zu nehmen, welche in sphärischer Beziehung untercorrigirt sind, wobei jedoch zu bemerken ist, daß bei Anwendung der zum Plößl'schen Gasmikroskop gehörigen (etwas übercorrigirten) Objective und gewöhnlicher Plößl'schen Objective kein auffallender Unterschied in der Schärfe des Bildes wahrgenommen wird. Es ist vielleicht der Vorsicht gemäß, die Gläser dieser achromatischen Linsen nicht zusammenzukitten, um der Gefahr, daß der Kitt durch die Hitze, welcher die Objective ausgesetzt sind, geschmolzen werde, zu entgehen. Uebrigens muß bemerkt werden, daß man ohne Schaden mit Canadabalsam zusammengekittete Linsen anwenden kann, und daß auch Plößl meint, er hätte nicht gefunden, daß das Zusammenkitten Schaden verursacht habe. Chevalier brachte hinter der Vergrößerungslinse noch ein achromatisches Concavglas an, um die Vergrößerung zu steigern.

Die angegebene Einrichtung hat den Nachtheil, daß bei der senkrechten Stellung des Objecttisches die Anbringung von Objecten, die in Wasser liegen, vielfach erschwert ist. Es ließe sich diesem Uebelstande leicht abhelfen, wenn man das Licht der Beleuchtungslinse durch einen diagonalgestellten Spiegel senkrecht nach oben zu einem horizontalen Objecttische leiten, und über der Vergrößerungslinse ein rechtwinkeliges Prisma anbringen würde, durch welches die Lichtstrahlen wieder eine horizontale Richtung erhielten.

Das Sonnenmikroskop kann auch zur Betrachtung opaker Gegenstände verwendet werden. Zu diesem Behufe wird das Licht, ehe es von der Sammellinse zu einem Focus vereinigt ist, durch einen diagonalstehenden Spiegel auf das seitwärts von der Axe des Beleuchtungsapparats liegende Object geleitet, oder es wird nach der Einrichtung von Pritchard das Licht mit einem Lieberkühn'schen Spiegel aufgefangen, dessen concave Fläche gegen die Beleuchtungslinse gewendet ist, und hinter dessen Oeffnung der Vergrößerungswinkel steht. Das Bild kann auf der dem Mikroskope gegenüberliegenden (weißen) Wand des Zimmers aufgefangen werden; passender ist es dagegen, hierzu einen großen, transportablen Schirm zu verwenden, welchen man je nach dem Intensitätsgrade der Beleuchtung dem Mikroskope unter Verkleinerung des Bildes nähern, oder unter Vergrößerung desselben entfernen kann. Dieser Schirm kann von Papier oder weißem Baumwollenzeuge sein. Auch kann man einen durchscheinenden Schirm von mattem Glase u. s. w. wählen, um das Bild von der hintern Seite her zeichnen zu können; am besten würde man hierzu eine mit Pflanzenpapier überzogene Spiegelplatte benutzen.

Das Sonnenmikroskop hat zum Behufe der Demonstration mikroskopischer Objecte einen großen Vorzug vor den gewöhnlichen Mikroskopen. Nicht nur können so viele Personen, als der Raum überhaupt zu fassen vermag, gleichzeitig das mikroskopische Bild sehen, wodurch viele Zeit gewonnen wird, sondern es ist auch möglich, an dem Bilde selbst das einzelne Detail zu demonstriren, während der Anfänger, welcher das mikroskopische Sehen noch nicht erlernt hat, wenn ihm unter dem gewöhnlichen Mikroskop ein Präparat gezeigt wird, sich nicht zurecht findet.

Da die Benutzung des Sonnenmikroskops durch die Nothwendigkeit eines hellen Sonnenscheins in unsern nördlichen Gegenden äußerst beschränkt wird, so gab dieses Veranlassung dazu, künstliches Licht zur Beleuch-

tung zu verwenden. Die Anwendung von Lampenlicht kann wegen Mangels an Intensität bei stärkeren Vergrößerungen kein gutes Resultat liefern und ist längst aufgegeben; dagegen glaubte man in den neueren Zeiten im Drummond'schen Lichte einen vollständigen Ersatz für das Sonnenlicht gefunden zu haben. Da man dieses Licht dadurch erhält, daß man einen Strom von brennendem Knallgas auf einen Cylinder gebrannten Kalkes leitet, so nannte man das Mikroskop, zu dessen Beleuchtung solches Licht verwendet wird, Hydroxygengasmikroskop, oder kurzweg Gasmikroskop.

Die Einrichtung des optischen Theils ist vollkommen dieselbe, wie beim Sonnenmikroskop, nur fällt der vor der Beleuchtungslinse stehende Spiegel weg. Das Mikroskop ist an einem Kästchen, gleichsam an einer großen Laterne, angeschraubt, in dessen Innern der Beleuchtungslinse gegenüber der Brenner des Gasapparats und der Kalkcylinder sich befinden. Der letztere ist auf das obere Ende einer senkrechten Schraube aufgesteckt, welcher durch die Hand oder besser durch ein Uhrwerk eine langsame Drehung aufwärts ertheilt wird, so daß beständig ein noch nicht benutzter Theil des Kalkcylinders der Einwirkung des brennenden Gasstroms ausgesetzt wird. Das Sauerstoffgas und das Wasserstoffgas wird abgesondert in zwei Gasometern oder in Säcken von luftdichtem Zeuge aufgefangen und der Sicherheit wegen erst in der Röhre des Brenners gemengt. Am besten wendet man hierzu die Daniell'sche Vorrichtung an, bei welcher das Wasserstoffgas durch eine weite Röhre, die vorn durch eine ebene, mit etwa 6 in einem Kreise stehenden Oeffnungen versehene Metallplatte abgeschlossen ist, in die kurze und enge Röhre des Brenners geführt wird. Durch die Axe dieser für das Wasserstoffgas dienenden Zuleitungsröhre läuft die weit dünnere Zuleitungsröhre des Sauerstoffgases, welche sich im Centrum zwischen den das Wasserstoffgas ausströmenden Oeffnungen in die Höhle des Brenners mündet. Man läßt zuerst in den Brenner nur Wasserstoffgas

ausströmen und zündet dieses an; dann läßt man erst Sauerstoffgas zutreten, wobei wenige Versuche die Stellung des Hahnes an der Zuleitungsröhre des Sauerstoffgases finden lassen, bei welcher der Kalkcylinder in das heftigste Glühen kommt. Ungeachtet die Intensität des auf diese Weise erzeugten Lichtes außerordentlich groß ist, so sind doch die Leistungen des mit demselben beleuchteten Mikroskops, selbst wenn die besten Objective, z. B. Plössl'sche, verwendet werden, über alle Erwartung gering, so daß man dieses Instrument, wenigstens so, wie es gegenwärtig existirt, für völlig unbrauchbar zu wissenschaftlichen Demonstrationen erklären muß.

Es möge der Grund dieser geringen Leistung des Gasmikroskops in Vergleichung mit dem Sonnenmikroskope dahin gestellt sein; wahrscheinlicherweise ist es aber nicht in der Art des hierbei verwendeten Lichtes, als in der geringen Intensität, welche dasselbe in Vergleichung mit dem Sonnenlichte besitzt, zu suchen. Wenn die Methode von Fizeau geeignet ist, bei der Messung dieses Verhältnisses ein genaues Resultat zn liefern, so ist die Intensität des Drummond'schen Lichtes $\frac{1}{146}$ von der des Sonnenlichtes. Ein um sehr viel intensiveres Licht erhält man, wenn man die Electricität einer starken galvanischen Batterie zwischen Kohlenspitzen überströmen läßt; nach den Versuchen von Fizeau übertrifft das auf diese Weise durch eine Bunsen'sche Batterie von 80 Elementen erhaltene Licht ungefähr 30mal das Drummond'sche Licht an Intensität.

Nach demselben Principe, welches dem Sonnenmikroskope zu Grunde liegt, construirte Harting ein tragbares Instrument. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem einfachen Mikroskop, dessen Stativ Wollaston'sche Einrichtung hat und dessen Vergrößerungsgläser aus kleinen Glaskügelchen bestehen. Wenn das Instrument als Sonnenmikroskop benutzt werden soll, so wird das Bild der Sonne durch den Beleuchtungsspiegel und die planconvexe Linse des Stativs auf das Object geworfen und über die vergrößernde Linse ein auf besonderem

Arm befestigter, umgekehrter, innen geschwärzter Conus von Blech gestellt, welcher etwa 5″ Höhe und an seiner nach oben gewendeten Oeffnung ebenso viel Breite hat. Die obere Oeffnung desselben ist mit einer mattgeschliffenen Glasplatte zum Auffangen des Bildes bedeckt. Um das Tageslicht von dem Bilde abzuhalten, wird ein an seiner Spitze mit einer Oeffnung versehener conischer Deckel aufgesetzt, oder, wenn mikrometrische Messungen und dergleichen vorgenommen werden sollen, über den Kopf des Beobachters und den obern Theil des Instruments ein Tuch gehängt.

Harting benutzte diesen Apparat vorzugsweise zu mikrometrischen Messungen und giebt an, mittelst desselben wenigstens auf $\frac{1}{5000}$ Mill. genau messen zu können.

Einige Vorschläge zur Verbesserung des Sonnenmikroskops sind von Brewster. Er schlug vor, anstatt einer achromatischen Vergrößerungslinse eine Linse von solcher Form zu gebrauchen, daß dieselbe, wenn ihre vordere Fläche in eine Flüssigkeit tauche, durch diese achromatisirt werde. Zu diesem Behufe schlägt er vor, die Linse in das eine Ende einer horizontalen Röhre einzukitten, deren anderes Ende durch ein Planglas verschlossen sei, und welche auf der nach oben gewendeten Seite eine Oeffnung besitze. In diese Röhre sollte eine Flüssigkeit gegossen und durch die bemerkte Oeffnung das Object eingeführt, und in den Focus der Linse gestellt werden.

Um die Brennweiten der Linsen genau zu messen, verweisen wir auf die scharfsinnigen Methoden von Moser und Merz, die wir vorher, anschließend an die Theorie der Fernröhre, genau erörtert und durch ausgeführte practische Messungen in Zahlen erläutert haben.—

Achtes Capitel.

Interferenz und Beugung des Lichts.

---

§. 211. Wesen der Interferenz. Fresnel's Spiegelversuch.

Nachdem wir bereits am Anfange (§. 1 und 2) die Ansichten, die sich jetzt in Bezug auf die Theorie des Lichts geltend gemacht, kennen gelernt, werden wir einsehen, daß die sogenannten Interferenzerscheinungen die wichtigste Stütze der Vibrationstheorie sind. Schon Grimaldi (1665) beobachtete, daß wenn man einen Sonnenstrahl durch eine feine Oeffnung hindurchläßt und das Bild desselben auffängt und genauer betrachtet, der erleuchtete Raum größer ist, als er es, wenn das Licht sich geradlinig fortpflanzen würde, überhaupt sein könnte; er beobachtete auch farbige Säume sowohl im Schatten des schmalen Körpers, als auch am Anfange des erleuchteten Flecks und schrieb diese Erscheinungen einer Ablenkung vom geradlinigen Wege zu, welche die Lichtstrahlen erleiden, wenn sie an den Rän-

dern undurchsichtiger Körper vorübergehen. Diese Ablenkung nannte er Diffraction; später ist sie Beugung und Inflexion genannt. —

Grimaldi beobachtete ferner, daß wenn er Licht durch zwei sehr nahe gelegene Oeffnungen auf einen Papierschirm fallen ließ, so daß an der Berührungsstelle beider Bilder ein Theil derselben sich deckte, diese gemeinschaftlich erleuchtete Stelle zwar heller war, jedoch dunkle Streifen zeigte und zwar einen dunkleren Ton verrieth, als jene, die nur durch eine Oeffnung erleuchtet wurde. Diese dunkeln Streifen verschwanden auch, sobald eine Oeffnung ganz verdeckt wurde. Grimaldi nahm deshalb schon an, daß das Licht in einer Wellenform schwingen müsse, und behauptete, daß — ähnlich wie bei der Wasserwelle nur Wellenberge und Wellenthäler verschiedener Wellen sich verstärken, daher ein Wellenberg zu einem Wellenthal sich ebenen müssen, — Lichtwellen in verschiedenen Schwingungszuständen sich zerstören und deshalb Licht zu Licht gefügt nicht immer eine Verstärkung in der Intensität bewirkt.

Goring bestätigt später die Wahrheit dieser Erscheinungen und bezeichnete diese Einwirkung der Lichtstrahlen mit dem Namen der Interferenz. Diese Interferenzerscheinungen lassen sich aber nach der Emanationstheorie nicht erklären.

Es handelte sich nun noch darum, daß man diese Interferenzerscheinungen allein ohne Beugung (deren Wesen noch nicht gehörig erkannt war), hervorbringe. Dieses that Fresnel durch seinen Spiegelversuch. Er stellte zwei Metallspiegel so nebeneinander auf, daß die Ebenen beider vertical sind, d. h. also, daß sie in einer verticalen Linie zusammenstoßen; nur muß der Winkel, den die beiden Spiegelebenen bilden, sehr stumpf, also nahe 180° sein. Ist nun vor den Spiegeln ein leuchtender Punkt, so sendet er Strahlen auf beide Spiegel und es werden zwei Spiegelbilder des leuchtenden Punktes entstehen, die deshalb sehr nahe zusammenliegen, weil die Spiegelebenen sehr nahe zusammenfallen. Die

reflectirten Strahlen treffen nun in einiger Entfernung von den Spiegeln zusammen und bilden dadurch abwechselnd helle und dunkle Streifen. Dieser Fundamentalversuch für die Undulationstheorie läßt sich auf folgende Weise einfach wiederholen. Auf ein Holzstückchen 10 Centim. lang, 2 Centim. hoch und 3 Centim. breit klebe man in der Mitte und an den beiden Enden Wachs und befestige darauf so zwei Spiegel von 5 Centimeter Länge und 3 Centim. Breite, daß sie in dem mittlern Wachsstücke zusammenstoßen, dann wird man durch Aufdrücken die beiden Spiegel beliebig gegen einander neigen können. Pouillet hat die Interferenzspiegel durch ein Interferenzprisma ersetzt, indem er die beiden Flächen einen sehr stumpfen Winkel mit einander bilden ließ, so daß die von einem leuchtenden Punkte hinter dem Prisma ausgehenden Strahlen nach dem Durchgange durch dasselbe so fortgehen, als ob sie von den zwei nahe bei einander liegenden Punkten ausgegangen wären. Somit werden beide durch die Flächen gehenden Strahlen unter einem sehr spitzen Winkel, ähnlich wie bei den Interferenzspiegeln zusammentreffen. — Während man zur Erzeugung der Lichtquelle einen Spalt in dem Laden eines dunkeln Zimmers, durch den man vermittelst des Heliostaten Licht hineinwirft, oder eine Argand'sche Lampe anwenden kann, erzeugte Fresnel durch eine aus zwei Cylindersegmenten zusammengesetzte Cylinderlinse einen leuchtenden Streifen, indem eine so construirte Linse eine Brennlinie liefert. —

§. 212. Erzeugung der Farbenspectra durch Beugung.

Sahen wir nun schon vorhin, daß Grimaldi bereits seine Aufmerksamkeit auf die Beugungserscheinungen gerichtet, so geschah dieses in noch viel größerem Grade von Newton, Fresnel, Fraunhofer, Herschel und Schwerd, dessen klassisches

Werk: „Die Beugungserscheinungen" allen denen zu empfehlen, die in der höhern Analysis bewandert sind. Fraunhofer setzte die beugende Oeffnung (am besten Stanniolblättchen, in welchen scharfe Kreise, Dreiecke, Vierecke u. s. w. geschnitten) unmittelbar vor das Objectiv eines Fernrohrs und betrachtet eine Lichtquelle, etwa das Sonnenbildchen auf einer Quecksilberkugel oder auf einem geschwärzten Uhrglase. Sieht man nun durch einen schmalen Spalt nach einer Lichtlinie etwa durch rothes Glas, so sieht man in der Mitte der ganzen Erscheinung einen sehr hellen Streifen, dem zu beiden Seiten, immer durch dunkele Zwischenräume getrennt, andere folgen, deren Lichtstärke, je weiter sie von der Mitte entfernt sind, sehr merklich abnimmt. Man nennt nach Fraunhofer diese Seitenbilder spectra erster Ordnung und diese werden um so schmäler, je weiter die Oeffnung ist. —

Betrachtet man nun die Beugungserscheinungen statt durch eine, durch zwei Oeffnungen, so erblickt man die früher erwähnten Spectra erster Ordnung durch *viele* schwarze Streifen in mehrere kleine Spectra *abgetheilt*, die Fraunhofer Spectra zweiter Ordnung nannte, und die Zahl der schwarzen Streifen, welche die Spectra erster Klasse durchschneiden vermehrt sich noch und es entstehen die Spectra dritter Klasse, wenn noch mehr als zwei Spalten neben einander liegen. —

Bringt man den beugenden Spalt vor das Objectiv des Fernrohrs eines Theodolithen, welcher die Winkel noch bis auf Sekunden angiebt, so kann man sehr leicht die Winkelabstände der dunkeln Streifen von der Mitte des Bildes messen, denn man läßt den verticalen Faden des Fadenkreuzes genau durch die Mitte des Beugungsbildes gehen und dreht es dann so lange bis der erste, zweite, dritte u. s. w. dunkele Streifen mit jenem Faden zusammenfällt. Die Winkelwerthe der Drehung werden dann am Nonius des horizontalen Theilkreises des Theodolithen abgelesen. —

§. 213. Messung der Wellenlängen eines farbigen Strahles.

Wir haben das Vorhergehende angeführt, weil man vermittelst dieser Messungen die Länge einer Lichtwelle berechnen kann. Ist (Fig. 10, Taf. XII) das dem ersten dunkeln Streifen entsprechende gebeugte Strahlenbündel, so muß die Entfernung Ca einer Wellenlänge gleich sein. Die Länge CD ist aber ein Spalt, der das Licht durchläßt, und war bei Schwerd's Untersuchungen 1,353 Millim. lang; Schwerd fand ferner die Größe des Ablenkungswinkels CDa = 1′ 38″ und da

$$Ca = CD \cdot \sin. CDa$$

so ist $$Ca = 1{,}353 \cdot \sin. 1' 38'' = 0{,}000643 \text{ Mill.}$$

Schwerd wandte zu seinen Untersuchungen rothes Glas an, das nur solche Strahlen durchließ, welche zwischen den Fraunhofer'schen schwarzen Streifen B und D fallen, und somit entspricht dem Roth, welches zwischen B und D in der Mitte liegt, die Wellenlänge 0,000643 Millim. Ebenso findet man die Wellenlängen für die andern farbigen Strahlen.

B = 0,0006897	Millim.	= 0,00002541	Zoll.
C = 0,0006559	„	= 0,00002422	„
D = 0,0005888	„	= 0,00002175	„
E = 0,00005265	„	= 0,00001945	„
F = 0,00004856	„	= 0,00001794	„
G = 0,00004296	„	= 0,00001587	„
H = 0,00003963	„	= 0,00001464	„

Unter den zur Berechnung der Wellenlänge nöthigen Messungen ist die der Breite des Spaltes am schwierigsten. Um diese Breite mit größter Genauigkeit messen zu können, hat man der Beugungsspalte folgende Einrichtungen gegeben: Die Spalte wird durch zwei Stahlplatten, gebildet von denen die eine auf einer hinter der Spalte durchbrochenen Messingplatte befestigt ist, während die zweite durch einr Mikrometerschraube verschoben

werden kann, so daß man innerhalb gewisser Grenzen der Spalte jede beliebige Breite zu geben im Stande ist. Zu dem Ende muß man die Höhe eines Schraubenganges genau kennen und der Kopf der Schraube muß mit einer Theilung versehen sein, die noch Unterabtheilungen einer Umdrehung abzulesen gestattet. Ist also z. B. die Höhe eines Schraubenganges $\frac{1}{2}$ Millim. und der Kopf der Schraube in 20 Theile getheilt, so wird man die Breite des Spaltes auf $\frac{1}{20}$ Millim. ja $\frac{1}{40}$ Millim. genau berechnen können. —

Wir müssen an dieser Stelle auf die interessanten Untersuchungen zurückkommen, die von F. A. Robert, damals noch in Barth in Pommern wohnhaft, angestellt worden sind.

§. 314. Die Interferenz — Spectrumplatte.

Vor einigen Jahren, wie Robert die Farben beschäftigten, welche das Mikroskop zeigt, wenn *sowohl* die Objecte, wie der Beleuchtungswinkel verändert werden, gelangte er zur Construction einer Theilung, welche die sieben Hauptfarben des Spectrums, jede völlig monochromatisch und getrennt und alle gleichzeitig durch Interferenz darstellt, zugleich aber auch mit großer Evidenz veranschaulicht, wie die Farben von der verschiedenen Wellenlänge des Lichtes abhängen.

Auf der Mitte einer Glasplatte befinden sich sieben Abtheilungen durch größere Zwischenräume getrennte Parallellinien, deren Abstand in jeder einzelnen Gruppe sich völlig gleichbleibend, in den verschiedenen aber in demselben Verhältnisse wächst, wie die Undulationslänge vom violetten Strahl bis zum rothen zunimmt. Auf den von ihm bis jetzt ausgeführten Platten dieser Art ist der Abstand der Mitte zweier Linien, oder mit Fraunhofer die Größe $\gamma + \delta$, in Pariser Linien ausgedrückt, wie folgt:

tiefroth	0,001600	Linien
orange	0,001450	"
gelb	0,001325	"
grün	0,001188	"
hellblau	0,001075	"
indigo	0,001000	"
violett	0,009000	Linien.

Oberhalb der Theilung ist zur Sicherung gegen Staub und Verletzung ein Deckplättchen geklebt.

Beim Gebrauche legt man die Platte, das Deckplättchen nach oben gewandt und den darauf gezeichneten Pfeil nach der Lichtquelle gerichtet, auf den Objecttisch eines zusammengesetzten Mikroskops und wendet eine 16 bis 25fache Vergrößerung an, wobei es aber unerläßlich ist, die freie Oeffnung des Objectivs bis auf 0,7''' oder 0,8''', im Durchmesser zu vermindern, für welchen Zweck der Platte ein Metallscheibchen mit Loch, welches von oben in die Fassung des Objectivs gelegt wird, beigegeben ist. Diese Verkleinerung der Objectivöffnung hat erstens den Zweck, von dem Lichte, welches, vom Erleuchtungsspiegel ausgehend, unter einem Winkel von 11° 24' (mit dem Einfallslothe der Platte) auf das Gitter fällt, nicht direct in's Mikroskop gelangen zu lassen, zweitens aber zu verhindern, daß noch Strahlen von bedeutender Steigung gegen die Axe des durch das Objectiv gehenden Strahlenkegels zur Ergänzung der farbigen Streifen im Mikroskop mitwirken. Einen verwandten Zweck hat die zur Seite des Pfeils gezeichnete Kerzenflamme, welche andeuten soll, daß von der Seite des Erleuchtungsspiegels das Licht zum Gitter aufsteigen muß. Durch die Breitenausdehnung, welche die Theilung hat, und da die sieben Abtheilungen gleichzeitig in den, ihnen angehörigen Farben erscheinen sollen, entstehen nämlich bei der größern Nähe des vom Spiegel ausgehenden Lichtes und des Mikroskopobjectivs, etwas verschiede Neigungswinkel des auffallenden und reflectirten Lichts an den verschiedenen Abtheilungen des Gitters, welche nothwendig einen etwas veränderten Ganguter-

schied der Strahlen (als wie er sonst bei gleichem Neigungswinkel durch den Werth $\gamma + \delta$ in den sieben Abtheilungen, proportional den Wellenlängen der Farben, gegeben ist) hervorrufen müssen. Dieser veränderte Gangunterschied würde aber bei der Zerlegung des weißen Lichts durch die sieben Gitter etwas andere als die sieben verlangten Farben erzeugen, und es ist deshalb in der Theilung die Größe $\gamma + \delta$ in den auf einander folgenden Abtheilungen, durch Versuche ermittelt, etwas stärker zunehmend angenommen, als wie solches die Undulationslängen fordern.

Nach dieser die Construction der Theilung betreffenden Bemerkung, kehren wir zum Versuche zurück und erinnern, daß zwischen dem Spiegel des Mikroskops und dem leuchtenden Fenster, in 5 bis 6 Zoll Entfernung vom erstern, ein Schirm mit etwa 6 Zoll hoher und $\frac{1}{3}$ Zoll breiter Spalte aufgestellt sein muß, welche letztere ihren Lichtstreifen auf diejenige Seite des Spiegels wirft, welche auf der Platte durch die Lichtkerze angedeutet ist.

Wenige Drehungen des Erleuchtungsspiegels werden jetzt hinreichen, im dunkeln Felde des Mikroskops sieben farbige Streifen zur Anschauung zu bringen, und wenn die Spiegellage völlig berichtigt ist, erscheinen die sieben Hauptfarben in höchster Deutlichkeit, durch dunkle Zwischenräume gegenseitig getrennt und in derselben Ordnung auf einander folgend, wie im prismatischen Sonnenbilde, wobei auch ihre specifische Leuchtungsfähigkeit, im Gegensatz zu den dunkeln Zwischenräumen, sehr hervortritt.

Ist diese Beobachtung beendigt, so entferne man das verengte schwache Objectiv des Mikroskops, setze statt seiner ein Objectivsystem von 180 bis 200 mal vergrößernder Kraft an, so wird man vermöge des größern Lichtkegels, welchen diese Objective durchlassen, ein helles Gesichtsfeld mit sieben Abtheilungen Parallellinien sehen, deren Abstände, mit einem genauen Mikrometer gemessen, darthun werden, daß sie im Verhältniß der Undulationslängen der sieben Hauptfarben stehen.

In theoretischer Hinsicht bildet die Erscheinung einen der einfachsten Interferenzfälle. Das Licht fällt vom Spiegel unter einem Winkel von 11° 24′ mit dem Einfallslothe der Theilungsebene auf die Gitter, wird von diesen in der Richtung jenes Einfallsloths in's Mikroskop geführt und zur Anschauung gebracht. Die Interferenzbildung wird demnach allein durch den Gangunterschied der vom Spiegel zum Gitter gehenden Strahlen hervorgerufen und er ist, wenn man mit Fraunhofer ein Intervall irgend eines der sieben Gitter mit $\gamma + \delta$ bezeichnet, $= (\gamma + \delta)$ sin. 11° 24′. In der Abtheilung z. B., welche den indigofarbenen Streifen erzeugt, ist $\gamma + \delta = 0{,}001'''$, also $0{,}001''' \cdot$ sin. 11° 24′ $= 0{,}000197$, gleich der Wellenlänge des indigofarbenen Strahls.

§. 215. Ueber eine Glasplatte mit Theilungen zur Bestimmung der Wellenlänge und relativen Geschwindigkeit des Lichtes in der Luft und im Glase von Nobert.

Wir erwähnen sogleich hier am Anfange, daß diese Untersuchungen, die da folgen, um so wichtiger sind, als sie zur Bestimmung der Vergrößerung eines Mikroskops dienen, da man aus der Farbe der Gruppen nicht nur auf das Vorhandensein der Linien, sondern auch auf ihren Abstand in absolutem Maße also auch auf die Vergrößerung durch die Linsen schließen wird.

Wenn man die im vorigen §. beschriebene Platte umkehrt, so daß das Deckplättchen nach unten zu liegen kommt, die Anordnung der Farben, von der Rechten zur Linken, aber dieselbe wie bei dem ersten Versuche geblieben sind, so bemerkt man keinerlei Veränderung an den farbigen Streifen. Dies war Nobert zuerst parador, denn in dem einen Falle findet die Interferenzbildung in der Luftschicht zwischen Hauptplatte und

Deckplättchen statt und der Neigungswinkel des vom Spiegel kommenden Strahls mit dem auf der Gitterebene errichteten Einfallslothe, ist dem bei der Construction der Theilung vorausgesetzter Winkel gleich, während bei umgekehrter Platte, die Interferenzbildung in der Glasmasse selbst erfolgt, und der dem Neigungswinkel o analoge $o' = \text{arc}\ \frac{\sin.\ o}{n}$ sich ergiebt, wenn wir mit n den Brechungsindex des Glases bezeichnen, worauf die Theilung geschnitten ist. Der Gangunterschied der Strahlen, welche zwei benachbarte Züge desselben Gitters treffen, ist also unter den obigen Umständen

$$\text{in der Luft} = (\gamma + \delta) \sin.\ o$$

$$\text{im Glase} = (\gamma + \delta) \frac{\sin.\ o}{n},$$

also ihr Verhältniß $1 : \frac{1}{n}$ = dem Brechungsverhältniß. Also gerade die gleiche Farbenentwickelung der Platte in beiden Lagen beweist, daß die Undulationslänge im Glase, im Verhältniß des Brechungsindex von Luft in Glas, abgekürzt ist, genau so wie die Wellentheorie erfordert.

Obgleich also die beschriebene Platte, wie so viele andere Erscheinungen, die verkürzte Wellenlänge in dem stärker brechenden Körper darthut, so ist doch der Beweis nicht sogleich einleuchtend, und der Wunsch dies unmittelbar zu zeigen, führte zur Erfindung der folgenden Platte, die dies nicht blos mit höchster Evidenz veranschaulicht, sondern auch zugleich mit großer Genauigkeit auf einem höchst einfachen Wege die Undulationslängen der verschiedenen Farben des Spectrums finden lehrt. Auf der Fläche ab, einer 2‴ dicken, 20‴ langen und 10‴ breiten Glasplatte, deren eine Längenkante bc unter einem Winkel von nahe 75° angeschliffen und polirt (Taf. XXX, Fig. 1) ist, befinden sich parallel zur Längendimension und in der Nähe des spitzen Winkels abc, eine Reihe in Gruppen geordneter und in letzterer Hinsicht mit A B . . . P bezeichneter Parallellinien. Die

tigkeit zu, und da nicht blos die Farbe, wie erst gezeigt, sondern auch die Lichtstärke der Linien durch einen Wechsel in der Entfernung der Lampe erzielt werden kann, so dürfte das neue Mikrometer vielleicht Beachtung verdienen.

Das Urtheil Struve's (in der Description de l'observatoire de Poulkova, S. 192) über das Fraunhofer'sche (von Merz ausgeführte) Positionsmikrometer des großen Refractors, mit hellen Linien im dunkeln Felde, lautet aber für dies Mikrometer so günstig, daß kaum noch eine Aussicht, etwas besseres zu leisten, übrig bleibt; allein der Umstand, daß in neuester Zeit, wohl mit durch die scharfsinnigen Betrachtungen Doppler's veranlaßt, ein erhöhtes Interesse sich der Farbe der Sterne zugewandt hat, kann für dies Mikrometer ein Feld der Beobachtung werden.

Die bisherigen Angaben der Farbe der Sterne beruhen auf dem individuellen Gefühle des Beobachters und es tritt zuweilen der Fall ein (wie A. von Humboldt an einer Stelle in der ersten Hälfte des dritten Bandes seines Kosmos sagt), daß verschiedene Beobachter einen und denselben Stern grün und blau nennen, eine Erfahrung, die leicht erklärlich ist und eine mindere Fähigkeit des Auges, die Undulationen sicher zu zählen, beweist.

Diese Unsicherheit in der Bestimmung der Farbe der Sterne wird bei der Benutzung des neuen Mikrometers dadurch verschwinden, daß man nicht die Farbe, sondern die Wellenlänge, welche der Farbe des Sternes angehört, bestimmt und also einen numerischen Werth für dieselbe erhält. Um dies zu bewerkstelligen, muß die Lampe, welche das Mikrometer beleuchtet, an einem drehbaren Arm befestigt sein, und ihr Licht durch den schmalen Einschnitt eines diopterähnlichen Theils, der zwischen Lampe und Mikrometer an demselben Arm befestigt ist, auf das Mikrometer senden. Der Einschnitt des Diopters ist folglich als die Erleuchtungsquelle zu betrachten, und da die Drehungsaxe des beweglichen Arms sich in

recht auf den Linien der Theilungen steht, die Farbenentwickelung der Gitter äußerst lebhaft ist, und von der Gruppe B bis zu derjenigen L sich die wichtigsten Farben des Spectrums dargestellt finden.

In der ersten Zeit nach der Construction dieser Platte, hat N. aus der mittleren, auf astronomischem Wege bestimmten Zeit jeder einzelnen Beobachtung, die wahre Sonnenzeit, den Stundenwinkel und die scheinbare Höhe des Sonnenmittelpunkts abgeleitet, später aber es viel bequemer gefunden, zwischen Sonne und Mikroskop, in einer Entfernung 8″ bis 10″ von letzterem, einen Schirm mit horizontalem 6‴ langem und 0,3‴ breitem Einschnitt, durch welchen die Sonnenstrahlen auf das Gitter fallen, aufzustellen. Wird dieser Schirm in verticaler, zu dem Einschnitt normaler Richtung, mit einer Theilung in Zolle und Linien versehen, deren Anfangspunkt in der Mitte des Einschnitts liegt, die verlängerte Ebene des Objecttisches aber diese Theilung in einem Punkte schneidet, dessen Angabe bei einer Beobachtung = r ist, während die Entfernung des beobachteten Gitters von dem Punkte r der Theilung = q sich ergiebt, die Dicke der Glasplatte (auf der obern Fläche derselben befindet sich die Theilung) aber = d gesetzt wird, so ergiebt sich

$$\text{tang. } h = \frac{r - d}{q},$$

wenn wir mit h den Erhebungswinkel des Einschnitts zur Gitterebene bezeichnen. Ist dann in irgend einer Gitterabtheilung eine bestimmte Farbe erschienen, so ist die Wellenlänge dieser Farbe, oder was hier gleichbedeutend ist, der Gangunterschied zweier Strahlen, welche zwei benachbarte Züge desselben Gitters treffen

$$= (\gamma + \delta) \cos. h.$$

Da bei Höhenwinkeln von 10° bis 20° sich die Cosinusse nur wenig ändern, so erfolgt auch die Farbenänderung nur langsam und die Bestimmung der Undulationslänge kann mit großer Genauigkeit vollzogen werden.

Diese Formel setzt voraus, daß die optische Axe des Mikroskops senkrecht auf der Gitterebene stehe, und daß die Beobachtung in die Richtung dieser Axe falle. Die erste Bedingung ist bei den mehrsten unserer Mikroskope ziemlich nahe erreicht und man kann sie in dem Grade, wie dies hier erforderlich ist, erfüllen, wenn man sämmtliche Linsen aus dem Mikroskoprohre entfernt und auf den Objecttisch einen Planspiegel, mit der Belegung die Tischebene berührend, legt. Sieht man jetzt am Ocularende durch ein centrisch angebrachtes Löchelchen und die Objectivöffnung des Rohrs nach dem Spiegel, so muß das Bild der letztern Oeffnung concentrisch in ihr selbst erscheinen; widrigenfalls die Spiegel- oder Tischebene corrigirt werden muß.

Auch unterlassen wir nicht zu errinnern, daß, da die Randstrahlen des durch das verengte Objectiv gehenden Lichtkegels symmetrisch um die Axe derselben liegen und nur kleine Winkel mit ihr einschließen, ihre Zusammenwirkung im Bilde des Mikroskops dieselbe Farbe hervorruft, welche durch die Axenstrahlen erzeugt wird. Endlich möge noch beiläufig bemerkt sein, daß sich die Farbenentwicklung fast noch schöner im zerstreuten weißen Lichte, wie solches von intensiv erleuchteten weißen Wolken erhalten wird, zeigt.

Die bisherige Darstellung betraf die Erscheinungen, welche die Interferenzbildung an den Gittern in der Luftschicht zwischen Hauptplatte und Deckplättchen hervorruft, und welche N., im Gegensatze zum gleich zu beschreibenden Glasspectrum, Luftspectrum nennt. Man kehre die Platte um, so daß Theilung und Deckplättchen nach unten zu liegen kommen, die polirte Seitenkante aber wie bisher der Lichtquelle zugewandt bleibe. In dieser Lage fällt das Licht fast senkrecht und also nahe ungebrochen durch die polirte Seitenkante und das Innere des Glases auf die Gitter, wird von diesen (im Innern der Glasmasse) reflectirt, um später die obere Glasfläche in der Richtung des Einfallsloths verlassend, im Mikroskop die farbigen Bilder der Liniensysteme,

analog denen des Luftspectrums, zur Anschauung zu bringen.

Die Interferenzbildung erfolgt also jetzt in der Glasmasse und wenn, der Undulationstheorie gemäß, die Wellenlänge sich im Verhältniß des Brechungsindex abkürzt, so muß die Farbe, welche im Luftspectrum an dem Gitter mit den Intervallen $\gamma + \delta$ erschien, ein Glasspectrum durch dasjenige Gitter erzeugt werden, dessen Linien den Abstand $\frac{\gamma + \delta}{n}$ haben, wenn wir mit n den Brechungsindex des Glases der Platte bezeichnen. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen, indem z. B. im Luftspectrum die Gittersysteme B, D, J respective tiefroth, gelb und violett erscheinen, während nach Umkehrung der Platte, im Glasspectrum, H, L und P die eben genannten Farben ziemlich nahe angenommen haben. Es müssen also:

$$\frac{(\gamma + \delta)\,b}{n} = (\gamma + \delta)\,n \text{ oder } \frac{(\gamma + \delta)\,b}{(\gamma + \delta)\,n} = n$$

$$\frac{(\gamma + \delta)\,d}{n} = (\gamma + \delta), \text{ oder } \frac{(\gamma + \delta)\,d}{(\gamma + \delta)\,i} = n$$

$$\frac{(\gamma + \delta)\,i}{n} = (\gamma + \delta), \text{ oder } \frac{(\gamma + \delta)\,i}{(\gamma + \delta)\,p} = n.$$

Die Werthe von n sollten eigentlich etwas wachsend, wegen der stärkern Brechbarkeit der nach dem violetten Ende des Spectrums hin liegenden Strahlen, ausfallen; allein die Beobachtung einer völlig gleichen Farbe in beiden Lagen der Platte dürfte merklich unsicherer sein, als wie eine, nicht um die Größe der Dispersion d n fehlerhafte Bestimmung von n, dies fordert.

Durch die Beobachtungen an dieser Platte wird also unmittelbar die Verkürzung der Wellenlänge im stärker brechenden Körper bewiesen, und da eine Größe, wie der Längenunterschied der verschiedenen Lichtwellen es ist, erst in neuester Zeit durch das Mikroskop erkennbar ward, so kann auch selbst in dem günstigen Falle an dieser Platte, wo nicht allein die Gitterebene senkrecht

ur Sehelinie steht und als eigentliches Object betrachtet wird, sondern auch die Richtung des auffallenden Lichts und also auch der Gangunterschied der Strahlen, mit der Gitterebene beinahe zusammenfällt, für das bloße Auge, die Erkennung der Farbe durch die ungleiche Wellenlänge, nicht möglich sein. Es kann daher, wie schon lange die Wellentheorie postulirt, nur allein die Zeitdauer der Undulation, oder was dasselbe ist, die Zahl der Wellenschläge in der Zeiteinheit, in unserm Auge die Farbe bestimmen.

Wenn nun, wie an dieser Platte im Luft- und Glasspectrum, durch zwei Gitter, deren Intervalle sich wie n : 1 verhalten, dieselbe Farbe und also auch die gleiche Zeitdauer der Undulation erzeugt wird, so muß die longitudinale oder Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts in jedem der beiden Körper im directen Verhältnisse der Gitterintervalle stehen, dieselbe Farbe (und gleiche Schwingungszeit) hervorrufen und sich verhalten in

Luft: Glas = n : 1

wie es die Wellentheorie verlangt.

Um einen, auf dem neuen Wege gewonnenen Beitrag für die Bestimmung der Wellenlänge der verschiedenen Farben, zugleich aber auch eine genauere Darstellung der Erscheinungen, welche die Platte zeigt, zu geben, setzt Robert folgende tabellarisch geordnete Angaben her, und bemerkt, daß die erste verticale Columne die Buchstaben der Liniensysteme enthält. Dann folgt die erste verticale Hauptabtheilung, welche die Erscheinungen und Angaben des Luftspectrums enthält, und sich in vier verticale Unterabtheilungen spaltet, von welchen die erste, die an der entsprechenden Gruppe beobachtete Farbe; die zweite den numerischen Werth der Größe $\gamma + \delta$ für dieselbe Gruppe; die dritte den Neigungswinkel des auffallenden Lichts mit der Gitterebene, die vierte endlich, die aus den beiden vorigen Elementen abgeleitete Wellenlänge der Farbe dieser Columne in der Luft, in Pariser Linien ausgedrückt, enthält.

Die Angaben der zweiten Hauptabtheilung enthalten das Analoge für das Glasspectrum; doch sind die Beobachtungen dieser Abtheilungen in viel kürzerer Zeit, wie die der ersten gemacht und können deshalb nicht als so genau und sicher wie jene bezeichnet werden. In der That ist der Zweck der Beobachtungen des Glasspectrums auch nur gewesen, die verkürzte Wellenlänge und verminderte Lichtgeschwindigkeit zu zeigen.

Gruppe	Luftspectrum. Farbe d. Gruppe	$\gamma+\delta$	h	λ	Glasspectrum. Farbe d. Gruppe	$\gamma+\delta$	h	λ
A	violett	0,000400‴	20° 20′		roth	0,000400‴	bei allen sehr nahe 20° innerhalb des Glases.	
B	sehr tiefroth	350	15 10	0,000338‴	brandgelb	350		
B	tiefroth	350	20 20	328				
C	hellorange	300	20 20	281	grün	300		
D	schwefelgelb	275	20 20	258	indigo	275		
E	schöngrün	250	20 20	234	violett	250		
F	blaugrün	237	20 20	223	rothviolett	237		
G	blau	225	20 20	211	grau	225		
H	indigo	212	20 20	199	roth	212		0,000199‴
I	violett	200	20 20	187	roth	200		188
K	sehr tiefviolett	188	20 20	176	orange	188		177
L	grauschwarz	175	20 20		brandgelb	175		165
M		163	20 20		grüngelb	163		153
N		150	20 20		grün	150		141
O		138	20 20		indigo	138		130
P		125	20 20		rothviolett	125		118

Arithmetisches Mittel der Wellenlängen in der Luft = 0,0002435

" " " " im Glase = 0,0001589

daraus abgeleiteter Brechungsindex $= \frac{0,0002435}{0,0001589} = 1,525$

mit dem auf anderem genauen Wege abgeleiteten Brechungsindex bis auf drei Einheiten der dritten Decimale gleichlautend.

Das Violett der Gruppe A im Luftspectrum fällt mit dem von J genau zusammen und ist eine Farbe zweiter Ordnung, da $(\gamma + \delta)a = 2(\gamma + \delta)i$ ist.

Die Wellenlängen in der Luft, welche sich durch die Gruppe B, C, D, E, F, G, H, I und K für die aufgeführten Farben ergeben, zeigen sogleich, daß wir am rothen Ende des Spectrums noch beträchtlich größere Werthe für λ erhalten, als bisher angenommen sind, eine Erfahrung, die um so weniger auffallen wird, als Brewster in neuester Zeit das rothe Ende des Spectrums sich so ausdehnen sah, und die messenden Beobachtungen Fraunhofer's sich nur von der Linie B bis zu derjenigen H der von ihm entdeckten festen Linien des Spectrums erstrecken. Die letzten fünf Gruppen L, M, N, O und P geben, wenn alles fremdartige Seitenlicht gehörig ausgeschlossen ist, keine Farben und bestätigen also ebenfalls die Folgerungen der Wellentheorie, welche diese Erscheinung voraussagte, sobald der Werth $(\gamma + \delta)$ cos. h kleiner als die kleinste Wellenlänge in der Luft wird.

Im Glasspectrum entspricht das Roth der Gruppe A genau demjenigen von I und ist, wie man sogleich sieht, eine Farbe zweiter Ordnung, obwohl ihm noch ein Violett dritter Ordnung beigemischt sein sollte; doch scheint das letztere gänzlich unterdrückt zu sein. Das Gelb von B ist ebenfalls zweiter Ordnung und mit dem von L zusammenfallend. Das Grün zweiter Ordnung in C stimmt mit dem in N genau zusammen, und ebenso ist das Indigo derselben Ordnung in D dasselbe, welches sich in O zeigt. Das Violett in E kann nur eine Farbe zweiter Ordnung sein, doch spielt es ungleich stärker in's Bläuliche wie das Violett in P. Endlich ist das Violett zweiter Ordnung in F etwas röthlicher wie dasjenige in P. Das Ansehen der Gruppe G ist zweifelhaft, indem N. selbst sie für röthlich halten möchte, während Andere, denen N. ein genaueres Farben-Unterscheidungsvermögen wie sich selbst zutraut, sie für grau, also farblos erklären, welches andeuten würde, daß λ

im Glase sich nicht bis zu dieser Größe erhebe, wogegen aber der analoge Werth derselben Farbe in der Luft zu sprechen scheint. Die Farben der Gruppen H, I, K, L, M, N, O und P sind sämmtlich Farben erster Ordnung und sie geben die in der Tafel aufgeführten Werthe von λ im Glase.

Die Ausführung der Theilungen dieser Platte ist sehr schwierig, theils wegen der großen Feinheit der Züge, theils wegen der unerläßlich nöthigen Aequidistanz derselben in jeder einzelnen Gruppe, welche, wenn sie nicht stattfindet, Streifen von anderer Farbe hervorruft. In den Gruppen N und O zum Beispiel ist die Größe $(\gamma + \delta)n - (\gamma + \delta)a = \frac{12}{10000000}$ Pariser Linien, wodurch die Farbe von dem Grün zum Indigo übergeht. Obgleich bei so kleinen Größen sich wenig mit voller Sicherheit sagen läßt, so berechtigen doch andere Beobachtungen, am Theilungsinstrumente selbst gemacht, zu dem Schlusse, daß wenn nicht außergewöhnliche Störungen, wie Temperaturveränderung und Erschütterungen bei dem Theilungsgeschäfte einwirken, der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Intervalle noch weniger als 0,000001‴ betragen.

§. 216. Das Ocularmikrometer mit leuchtenden farbigen Linien im dunkeln Gesichtsfelde von Nobert.

Jedenfalls nicht unerheblich sind die Verbesserungen, die Nobert für die astronomischen Instrumente eingeführt, und die auch zu den Erscheinungen gehören, denen dieses Kapitel gewidmet ist. —

Es ist bekannt, daß Fraunhofer, Lamont und Arago, behufs der Beobachtung lichtschwacher Gestirne an Meridianinstrumenten und am Aequatoreal, Mikrometer mit erleuchteten oder leuchtenden Linien im dunklen Gesichtsfelde erfunden haben oder zu Stande zu bringen suchten. Der erstere bewirkt dies durch Lampen,

deren Licht von der Seite die Spinnfäden des Mikrometers beleuchtet; der zweite, indem er nicht die Fäden selbst, sondern ihre, von einem unbelegten, im Fernrohr befestigten Planglase, reflectirten Bilder zur Messung benutzt; der dritte endlich, indem er die aus Platin gefertigten Mikrometerfäden als Schließungsdraht eines Volta'schen Elements erglühen oder durch andere auf ähnliche Weise glühende Drähte, erleuchten läßt.

Diejenigen, welche die Wirkung der im vorigen §. beschriebenen Platte gesehen haben, werden sich das neue, von Nobert bereits ausgeführte Mikrometer leicht versinnlichen können. Auf einer Glasplatte, (die aus dem dünnen englischen, höchst durchsichtigen, wenig Licht absorbirenden und reflectirenden Glase verfertigt ist) an der Stelle des gewöhnlichen Fadennetzes im Fernrohr befestigt, befinden sich fünf Parallellinien, deren gegenseitiger Abstand so bestimmt ist, daß für das anzuwendende Fernrohr die Durchgangszeiten für Sterne im Aequator um 15″ verschieden ausfallen. Jede dieser fünf einzelnen Linien besteht aus elf mikroskopisch feinen Linien, deren gegenseitiger Abstand 0.000325‴, ihre Summenbreite also nahe $\frac{1}{300}$‴, gleich der Dicke eines Spinnfadens, wie er gewöhnlich in unsern Fadennetzen angewandt zu werden pflegt, beträgt. Fällt das Licht einer Lampe durch die seitlich im Ocularrohr nächst dem Mikrometer gemachte Oeffnung, unter einem Neigungswinkel von 15° mit der Mikrometerebene (oder 75° mit der Axe des Fernrohrs), auf die Linien der letztern, so erscheinen diese, durch das Ocular betrachtet, im dunklen Gesichtsfelde scharf begrenzt und roth, und in dem Maße, wie der Neigungswinkel der Erleuchtung wächst, durchläuft die Farbe der Linien die ganze Farbenscala des Spectrums. Der Umstand, daß die Linie durch das Objectiv wie Ocular gleich leuchtend erscheinen, läßt die Anwendung der jetzt wohl auf allen größern Sternwarten eingeführten Bessel'schen Methode der Nadirpunktsbestimmung durch normale Zurückwerfung der Fadenbilder vom Quecksilberhorizont in's Fernrohr, mit Leich-

tigkeit zu, und da nicht blos die Farbe, wie erst gezeigt, sondern auch die Lichtstärke der Linien durch einen Wechsel in der Entfernung der Lampe erzielt werden kann, so dürfte das neue Mikrometer vielleicht Beachtung verdienen.

Das Urtheil Struve's (in der Description de l'observatoire de Poulkova, S. 192) über das Fraunhofer'sche (von Merz ausgeführte) Positionsmikrometer des großen Refractors, mit hellen Linien im dunkeln Felde, lautet aber für dies Mikrometer so günstig, daß kaum noch eine Aussicht, etwas besseres zu leisten, übrig bleibt; allein der Umstand, daß in neuester Zeit, wohl mit durch die scharfsinnigen Betrachtungen Doppler's veranlaßt, ein erhöhtes Interesse sich der Farbe der Sterne zugewandt hat, kann für dies Mikrometer ein Feld der Beobachtung werden.

Die bisherigen Angaben der Farbe der Sterne beruhen auf dem individuellen Gefühle des Beobachters und es tritt zuweilen der Fall ein (wie A. von Humboldt an einer Stelle in der ersten Hälfte des dritten Bandes seines Kosmos sagt), daß verschiedene Beobachter einen und denselben Stern grün und blau nennen, eine Erfahrung, die leicht erklärlich ist und eine mindere Fähigkeit des Auges, die Undulationen sicher zu zählen, beweist.

Diese Unsicherheit in der Bestimmung der Farbe der Sterne wird bei der Benutzung des neuen Mikrometers dadurch verschwinden, daß man nicht die Farbe, sondern die Wellenlänge, welche der Farbe des Sternes angehört, bestimmt und also einen numerischen Werth für dieselbe erhält. Um dies zu bewerkstelligen, muß die Lampe, welche das Mikrometer beleuchtet, an einem drehbaren Arm befestigt sein, und ihr Licht durch den schmalen Einschnitt eines diopterähnlichen Theils, der zwischen Lampe und Mikrometer an demselben Arm befestigt ist, auf das Mikrometer senden. Der Einschnitt des Diopters ist folglich als die Erleuchtungsquelle zu betrachten, und da die Drehungsaxe des beweglichen Arms sich in

der verlängerten Richtung der Mittellinie des Mikrometers am Ocularrohr des Fernrohrs befindet und von einem kleinen getheilten Kreise umgeben ist, so werden an dem letztern, bei der Drehung des Arms, die Neigungswinkel der Beleuchtung mit der Mikrometerebene abgelesen. Da nun bei wachsenden Neigungswinkeln die Farbe der Linien alle Farben des Spectrums durchläuft, so muß immer eine Lage des Arms vorkommen, in welcher bei der Beobachtung die Farbe des Sterns mit derjenigen der Linien coincidirt. Ist dieser Neigungswinkel = p und die Entfernung der mikroskopischen Linien in jeder einzelnen Linie des Mikrometers = $\gamma + \delta$ so ergiebt sich sogleich, wenn die Beobachtung und Vergleichung an der Mittellinie, also in der optischen Axe des Fernrohrs gemacht ist, für die Undulationslänge der Farbe des Sterns der Werth $(\gamma + \delta) \cos. p$. Bemerken wollen wir noch, daß N. bei diesem Mikrometer ein ziemlich verengtes Duve'sches Ocular, dessen Linsen, jede für sich, achromatisch gebaut sind, angewandt hat, und daß dem Auge genau sein Ort angewiesen sein mußte.

Es war Noberts Absicht, ähnlich wie bei den früher beschriebenen Instrumenten, auch mit diesem, einige Beobachtungsreihen an den durch ihre Farbenverschiedenheit sich auszeichnenden Sternen zu machen. Die Abend- und Mitternachtsstunden des Herbstes scheinen sich hierzu am besten zu eignen, da in dieser Jahreszeit die Sterne des Adlers und Stiers, des Orions, der Zwillinge, des Löwen, des großen und kleinen Hundes u. a. am südlichen Himmel stehen; allein die Witterung ist im damaligen Herbste den astronomischen Beobachtungen so vollkommen ungünstig gewesen, daß N. diesen Theil des Gegenstandes für jetzt hat aufgeben müssen.

Zusatz.

Man hat, soviel man weiß, bei dem Gebrauche, welchen man von den photometrischen Bestimmungen

des Glanzes der Sterne bis jetzt gemacht hat, die specifische Leuchtkraft ihrer Farbe nicht berücksichtigt. Aus Fraunhofer's Versuchen aber wissen wir, wie viel geringer schon die Lichtstärke des orangen und grünen Strahls relativ zu derjenigen des gelben ist, und es wird daher das neue Mikrometer geeignet sein, wenn man als Argument für die Lichtstärke die Wellenlänge einführt, die Lichtstärke der Gestirne auf eine bestimmte Wellenlänge oder Farbe, wie es offenbar sein muß, zurückzuführen. Auch als Photometer, ohne wie bisher die Farbe der Sterne zu berücksichtigen, kann eine einzige breitere (aus 80 bis 100 mikroskopischen Linien bestehende) Linie benutzt werden, wenn man die Bilder der Sterne nicht im Brennpunkte des Objectivs, sondern, wie in Steinheil's Photometer, außerhalb desselben, jedoch in constanter Entfernung von demselben, in Scheibenform beobachtet und die Erleuchtung der Linie durch Veränderung der Größe des Einschnitts (durch welchen das Licht auf die Linie fällt) dem Glanz der Sternscheibe gleich macht.

Farben dünner Blättchen.

§. 217. Newton's Farbenringe durch den Apparat von Jerichau dargestellt.

Unmittelbar zu den Interferenz- und Beugungserscheinungen gehören auch die Farbenerscheinungen in dünnen Blättchen und dünnen Luftschichten, die am genauesten von Newton beobachtet wurden. Wir lassen für den Practiker hier die Beschreibung eines Apparates von E. B. Jerichau folgen, wie er in den „Forhandlingen ver de skandinaviske Naturforskeres“ (übersetzt in Poggendorff) erschienen, der, einmal als practisch anwendbar zu empfehlen, gleichzeitig durch seine Erscheinungen, die er darbietet, einige kleine Irrthümer Newton's beseitigt. —

Die Newton'schen Farbenringe bilden sich bekanntlich in dem dünnen Zwischenraum zwischen einem Planglase und einem ziemlich flachen Convexglase, wenn man beide Gläser dicht zusammendrückt. Um die Breite der Ringe zu messen, berechnet Newton den Abstand der Gläser an der Stelle, wo man keine Farbe sieht. Er geht aber dabei von der Voraussetzung aus, daß die Gläser bei Anwendung eines Drucks in Berührung gebracht seien, was J. unrichtig gefunden hat. Deshalb hat er sich ein eigenes Instrument machen lassen, mittelst dessen die Gläser entweder zur Berührung gebracht oder um eine gewisse Anzahl Lichtwellenlängen von einander entfernt werden können. Dies Instrument nennt J. „Gyreidoskop.“ Einen Abriß davon zeigt die (Taf. I, Fig. 11). Der mit abcd bezeichnete Theil ist von Messing; ee ist ein Stahlstab, welcher auf der abgeschliffenen Bahn e'e' um einige Linien vor und zurückgeschoben werden kann, und zwar mittelst der Schraube f, welche ihn fortführt, und mittelst der Feder g, die gegen den durch ab gehenden Bolzen drückt, und so den Stahlstab zurückschiebt, wenn die Schraube in entgegengesetzter Richtung gedreht wird. Von h zu der Krampe i geht eine Feder, die mittelst Schrauben auf zwei Frictionsrollen drückt, welche den Stab in genauer Berührung mit seiner Bahn halten.

Das convexe Glas ist auf dem Stahlstabe befestigt und folgt dessen Bewegung. Das Planglas mn ruht auf der Fläche a, und ist daselbst so gerichtet, daß seine Ebene einen sehr spitzen Winkel, mit der Bahn e'e' macht, der Abstand von dieser also bei n größer ist als bei m. Eine rechtwinkelig gebogene Platte cc ist an a festgeschroben und hält das Planglas in seiner Lage. In Folge dieser Stellung des Planglases wird der Abstand zwischen ihm und dem Convexglase kleiner, wenn man den Stahlstab fortschiebt, und zuletzt berühren sie einander. Es läßt sich berechnen, um wie viel der Abstand der Gläser für jeden Schraubenumgang verändert wird, wenn die Neigung der Ebene des Planglases ge-

gen die Ebene e' e' bekannt ist, und diese findet man durch Spiegelung eines kleinen Gegenstandes in beiden Ebenen.

Um die Farbenringe vergrößert und deutlich sehen zu können ist das „Gyreidoskop" mit einem Mikroskop versehen, sowie mit einem Schirm, der die Lichtstrahlen ausschließt, welche nicht Theil nehmen an der Farbenbildung.

Nach den mit diesem Instrument gemachten Beobachtungen erfordern Newton's Untersuchungen über die Farbenringe mehrere Berichtigungen, welche nothwendig sind, ehe man aus einer Farbe auf den Abstand der Gläser schließen und diesen Abstand zur Messung kleiner Größen anwenden kann.

Bei dem homogenen Licht, welches die Flammen einer Weingeistlampe mit gesalzenem Docht liefert, sieht man abwechselnd dunkle und helle Ringe von der Farbe des Lichts; die hellen sind viermal breiter als die dunkeln, und der Uebergang ist ziemlich plötzlich. Läßt man durch das Zurückdrehen der Schraube f einen Ring nach dem andern verschwinden, so kann man über 200 noch sehr wohl mit bloßem Auge unterscheidbare Ringe zählen; mit dem Mikroskop sieht man aber nur eine geringere Anzahl, da dieses die dunkeln Ringe zunehmend heller zeigt.

Newton ließ die hellen und dunkeln Ringe fast gleich breit sein, und dieses entspricht auch seiner Theorie; unsere Beobachtungen stimmen aber besser mit der Interferenztheorie. Ebenso nahm er an, daß das dunkle Scheibchen, welches man in der Mitte der Ringe sieht, wenn die Gläser fast in Berührung stehen, von gleichen Ursprung sei, wie die dunkeln Ringe bei homogenem Licht. Dieses ist nicht der Fall. Es erklärt sich besser dadurch, daß der Abstand der Gläser so klein ist, daß entweder wegen des geringen Längenunterschiedes der Strahlen keine merkliche Interferenz zu Stande kommen kann, oder daß der Aether zwischen den Gläsern, vermöge deren geringen Abstand, in denselben oder fast

denselben Zustand kommt, den er in den Gläsern besitzt. Aus beiden Hypothesen folgt, daß das Licht unverändert durchgeht, soweit der erste helle Ring nicht angefangen hat sich zu bilden, und daß aus diesem Grunde die Mitte des Ringbildes dunkel erscheint, wie ein Loch in der Belegung eines Spiegels. Ein weißer Metallspiegel zeigt deshalb ein Scheibchen von unverändertem Licht, welches nicht an einen dunkeln, sondern an den ersten hellen Ring grenzt; und die Seifenblasen zeigen, daß das dunkle Scheibchen nicht allmälig, sondern plötzlich in Licht übergeht, mit einer scharfen Grenze, die innerhalb des hellen Ringes liegt. Das dunkle Scheibchen erweitert sich nicht, wenn man es schräg betrachtet.

Es giebt verschiedene Erscheinungen, welche zu zeigen scheinen, daß der scharfe Uebergang aus Licht in Dunkelheit oder aus Interferenz in Nicht-Interferenz einigen Theil hat an der Zusammenhaltskraft der Körper, welcher bei diesem Abstand plötzlich vergrößert zu werden scheint, aber bei einem geringern Abstand tritt eine überwiegende Abstoßung ein. Man kann die Gläser zwar bis zur Berührung aneinander drücken, aber dann wird die dunkle Scheibe so groß, daß an dem Rande ein dunkler Ring und der innere Theil eine helle Scheibe ist, und die Gläser sind einander um fast ein Viertel einer Lichtwellenlänge mehr genähert, als Newton den Abstand für Null ansah. Sein Satz: daß die Durchmesser der dunkelsten Ringe sich verhalten wie die Quadratwurzeln aus den geraden Zahlen 0, 2, 4, 6 ... und die Durchmesser der hellsten Ringe wie die Quadratwurzeln aus den ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, ... ist deshalb nur richtig, wenn der kleinste Abstand der Gläser eine Viertel-Lichtwelle beträgt, wenn aber die Gläser in Berührung sind, müssen die Ausdrücke der geraden und ungeraden Zahl vertauscht werden.

Da dieser Irrthum bisher unbekannt blieb, so hat man in der Optik die Beobachtungen und Berechnungen über die Farbenringe der Annahme anzupassen gesucht, daß Newton's Gläser in Berührung stehen, daß die reflectirten Ringe mit Dunkel beginnen, und daß die

durchgehenden Farben complementär zu den zurückgeworfenen sind, hat also Resultate erhalten, die zum Theil der Gegensatz von der Wirklichkeit sind, zumal nach Young's Lehre, eine halbe Lichtwelle verloren geht. Man hat nicht bedacht, daß eine schwarze Verbindung der Farben nach der Interferenzlehre nicht bestehen kann. Durch folgende Construction kann man sich folglich eine richtige Vorstellung von der Zusammensetzung des Farbenbildes im Tageslicht machen.

In einem Kreise, dessen zwei auf einander winkelrechte Durchmesser wir ac und bd nennen wollen, denke man sich die Farben sich bewegend in Richtung abcd mit einer Geschwindigkeit, die der Wellenbreite proportional ist. In a hat die Farbe ihr Maximum, in c das Minimum von Licht. Die glanzvollste Weiße, bei der die Farbengläser zurückgeworfenes Licht bilden, hat man, wenn der Abstand der Gläser eine halbe Wellenbreite von der hellsten Farbe im prismatischen Bilde ist, da in diesem Fall die übrigen Farben auch ihrem Maximo nahe sind. Bewegt man nun die prismatischen Farben in der angenommenen Richtung, so breiten sie sich im Verhältniß zur Undulationsgeschwindigkeit auf dem Kreise aus, also geht das violette Ende des Bildes voran, und die Intensität eines jeden Farbenstrahls ist geringer, je weiter er von dem Punkte a, und je mehr die Farbe auf dem Kreise ausgebreitet ist. Aus der Resultante der Farben für jeden Augenblick entstehen alle Farbenordnungen. Nach der 8. und 9. Ordnung sind keine Farbenringe sichtbar: denn dann hat das prismatische Farbenbild sich mehrere Male um den Kreis ausgebreitet, und alle Farben sind an jedem Punkte gesammelt, und geben eine schwach weiße Lichtmischung.

Jedesmal wenn die hellste prismatische Farbe im Minimo ist, endet eine Farbenordnung mit einer rothen Grenze, und da die Wellenlänge derselben Farbe, nach Fraunhofer, 21,1 Milliontel eines französischen Zolles ist, so können wir hiernach eine Skale für den wahren Abstand der Gläser bilden, so wie eine rothe Grenze

in das Centrum der Ringe eintritt. Das giebt größere Abstände als Newton's Skale; allein die Unterschiede zwischen den Grenzen sind nur sehr kleine Größen. Das von Newton gegebene Gesetz für die Veränderung der Skale bei Betrachtung der Ringe unter verschiedenen Einfallswinkeln scheint in das, der Undulationstheorie entsprechende Gesetz verwandelt werden zu können: daß die Veränderung der Skale im umgekehrten Verhältniß des Cosinus vom Einfallswinkel steht, wenn wir den Nullpunkt auf den Abstand der Gläser setzen, bei welchem der erste weiße Ring beginnt.

Mittelst des „Gyreidoskop" findet man leicht die Lichtbrechung eines tropfbar flüssigen Körpers, wenn man einen Tropfen davon zwischen die Gläser bringt und dann den, den dunklen Ringen entsprechenden Abstand der Gläser mißt. Auch ist das Werkzeug zu dem Interferenzversuch mit Spiegeln brauchbar.

Das andere Instrument, welches kleine Ausdehnungen der Körper durch die Wärme mittelst der Farbenringe mißt, nennt J. „Thermomikrometer". (Tafel I, Fig.. 12) zeigt die Haupttheile desselben.

a, b sind zwei Platten, die ein Planglas c tragen, darunter ist ein flaches Convexglas d, welches von einem Körper e (z. B. einer Zinklamelle) gegen das Planglas gedrückt wird. Dieser Körper ist in einem Rahmen f eingesetzt, welcher in verschiedener Höhe befestigt werden kann. Das Planglas wird durch Schrauben gestellt, um, wenn man es wünscht, die Farben in den Mittelpunkt zu bringen. Die untern Enden der Platten a, b werden an den Fuß des Instruments festgeschroben. An diesem sind auch die übrigen Theile des Instruments befestigt, nämlich, eine Fassung, welche in einigem Abstand das Thermomikrometer allseitig, nur nicht oben, umgiebt, um es vor fremder Wärme zu schützen. Sie hat ein Rohr zur Einlassung der Wärmestrahlen, deren Wirkung auf den Körper e beobachtet werden soll. Die Farbenringe sieht man durch ein Mikroskop, welches auf einer Alhidade nach einem Gradbogen gestellt wird.

Der Schirm gegen die schädlichen Lichtstrahlen wird durch excentrische Bogen bewegt, die auf der Axe der „Alhidade“ befestigt sind. Ein Planspiegel und ein parabolischer Spiegel leiten das Licht von einem in beliebiger Höhe zu nehmenden Punkt des Himmels oder von einer Lampe unter den erforderlichen Einfallswinkeln auf die Farbenringe. Die im Allgemeinen brauchbarn Winkel liegen zwischen 15° und 50°.

Das Thermomikrometer wird auf folgende Weise gebraucht. Man setzt den auf seine Ausdehnung zu untersuchenden Körper ein, giebt dem Mikroskop eine Neigung von 40° bis 50° (zuweilen 15° bis 20°) und stellt das Planglas so, bis die rothe Farbe, von der man ausgehen will, in der Mitte der Ringe sichtbar ist. Hierauf bringt man die Farbengrenze in das Centrum durch eine neue Einstellung des Mikroskops, welche man im Augenblick der Beobachtung vornimmt. Will man in einem folgenden Augenblick die Ausdehnung finden, so verschiebt man das Mikroskop, bis man dieselbe oder eine nähere Farbengrenze im Centro sieht. Hält die Ausdehnung an, so macht man im nächsten Augenblick eine neue Einstellung des Mikroskops.

Aus den gemachten Ablösungen ergiebt sich, zufolge der angeführten Skale und einer nach dem erwähnten Gesetz berechneten Tafel, die Ausdehnung der Körper. Will man die Ausdehnung im Verhältniß zur Temperatur kennen, so muß diese zugleich durch ein in das Thermomikrometer gebrachtes feines Thermometer, das z. B. Viertel und Zehntel eines hunderttheiligen Grades angiebt, beobachtet werden.

Alles was sonst noch zu beachten ist, kann nicht in diesem Auszug beschrieben werden; die Experimentatoren werden leicht darauf verfallen. Als Beispiel von der Empfindlichkeit des Instruments will ich hier Folgendes anführen. Berührt man die Zinklamelle mit einer Fingerspitze, so ist die Ausdehnung durch die Wärme des Fingers so stark, daß alle Farbenordnungen in einem Augenblick durchlaufen werden.

Die Wärme dehnt natürlicherweise schon die Theile des Thermomikrometers aus; allein diese Ausdehnung kann ein für allemal bestimmt werden. Man macht 3 Reihen von Beobachtungen bei einer hinreichenden Anzahl kleiner, gleich großer Wärmeunterschiede, nämlich:

erstens mit Platten a, b von Messing, Lamelle v. Zink,
dann " " " " " " " Kupfer,
endlich " " " " Kupfer " " Zink.

Aus jeder Beobachtungsreihe leitet man ein Gesetz für die Ausdehnung v ab nach der allgemeinen Formel:

$$v = \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \ldots$$

Addirt man je zwei der berechneten Reihen und zieht von der Summe die dritte ab, so haben wir besondere Gesetze für die Ausdehnung des gebrauchten Messings, Kupfers und Zinks. Durch Wiederholung der Versuche mit verschiedenen Längen von Zinklamellen findet man den Einfluß der Ausdehnung des Glases auf die Coefficienten, und dann ist die Ausdehnung eines jeden Theils bestimmt.

Außer der Ausdehnung der Körper im Allgemeinen kann die Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Axen gefunden werden, ferner die Ausdehnung der Kugeln und Röhren von Thermometern, und dadurch die von Quecksilber und andern Flüssigkeiten.

Die Wärme, welche bei Zusammendrückung von Flüssigkeiten entwickelt wird, läßt sich finden durch ein Thermomikrometer von einem Paar Stahldrähten, welche das Planglas tragen, und einer Zinklamelle, welche das Converglas trägt. Dieses wird in die Flüssigkeit gesenkt und mit homogenem Licht beleuchtet.

Die Untersuchungen über die strahlende Wärme bewerkstelligt man mittelst einer in das Thermomikrometer eingesetzten Zinklamelle, die durch sehr schwache Strahlen erkennbar erwärmt und ausgedehnt wird, und in $1\frac{1}{2}$ Minuten das Maximum ihrer Ausdehnung erlangt. Alle Versuche, welche mit Mellani's „Thermoskop" gemacht werden können, lassen sich auch mit dem Thermomikrometer anstellen, und man erhält bestimmtere

und bei geringen Graden meßbare Resultate. Wir können noch weiter gehen und Interferenzversuche anstellen, wenn die Zinklamelle gegen einen Zinkdraht vertauscht wird. Diese Klasse von Versuchen unternimmt man bei constanter Temperatur.

§. 218. Die Theorie der Farbenerscheinungen dünner Blättchen.

Werfen wir nun noch im Allgemeinen einen Blick auf die Theorie, und sehen, wie sie im Stande ist diese erwähnten Thatsachen zu erklären, so müssen wir von vorn herein richtig den Weg eines Lichtstrahls, der auf eine dünne und durchsichtige Schicht fällt, verfolgen. Wir müssen nicht vergessen, daß der auffallende Lichtstrahl an der Oberfläche theils reflectirt wird, theils gebrochen hindurchgeht, dann aber ein Theil des gebrochenen Lichts ganz hindurchgeht, ein anderer an der zweiten, untern Fläche reflectirt zur obern zurückkehrt und, abermals gebrochen, parallel dem ersten reflectirten Hauptstrahl heraustritt, und mit ihm interferirt. —

Wenn nun der Weg durch die dünne Schicht eine halbe Wellenlänge beträgt, so beträgt er auch soviel zurück, und somit ist der zweite Strahl, der heraustritt, von dem ersten reflectirten um eine Wellenlänge unterschieden; somit werden sich diese beiden Bündel, ebenso als wären sie 2, 3, 4, 5 u. s. w. ganze Wellenlängen unterschieden, gegenseitig unterstützen. Wäre aber der ganze Weg durch das dünne Medium ½ Wellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge, so würden die beiden Strahlenbündel sich vernichten.

Betrachten wir nun die dünne, zwischen zwei Glasflächen eingeschlossene Luftschicht, so sehen wir wohl ein, daß wenn sie von Lichtstrahlen durchlaufen wird, außer der Differenz der durchlaufenen Wege noch der Unterschied stattfindet, daß das eine Lichtbündel in Glas, also in einem dichtern Mittel, das andere aber in Luft, also

in einem weniger dichten Mittel, an der untern Glasfläche reflectirt wird. Somit wird das an der untern Glasfläche reflectirte Strahlenbündel sich in einem Schwingungszustande befinden, welcher dem gerade entgegengesetzt ist, den man nach der Länge des durchlaufenen Wegs erwarten sollte; folglich gehen die Schwingungen dieses zweiten Strahlenbündels so vor sich, als ob sie einen um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge größern Weg durchlaufen hätten.—

Da also, wo die beiden Strahlen zusammenwirken würden, wenn man nur die Differenz der Wege berücksichtigte, wird ein vollkommener Gegensatz zwischen beiden stattfindenden; da aber, wo die Differenz der Wege einen vollkommenen Gegensatz andeutet, wird eine Unterstützung der beiden Strahlenbündel stattfinden.

An der Berührungsstelle beider Gläser, ist die Dicke der Luftschicht gegen die Länge einer Lichtwelle sehr klein, also hat das an der untern Glasfläche reflectirte Bündel keinen merklich größern Weg als das andere Bündel zurückgelegt, ist also gegen dieses in seinem Laufe um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge verzögert, und es wird somit ein *dunkler Fleck* entstehen.

Der erste dunkle Ring wird an der Stelle sein, an welcher die Dicke der Luftschicht $\frac{1}{2}$ Wellenlänge ist, denn da ist der Gangunterschied der beiden Strahlenbündel $\frac{3}{2}$ Wellenlänge, weil die Differenz der Wege (doppelte Dicke der Schicht) 1 Wellenlänge beträgt, zu der jedoch noch der Verlust einer halben Wellenlänge, die durch Spiegelung an der untern Glasfläche entstanden, hinzu zu addiren ist. Durch ähnliche Betrachtungen ergiebt sich, daß bei $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$, $\frac{9}{2}$ u. s. w. Wellenlängen der 2te, 3te, 4te u. s. w. dunkle Ring sein wird. Bezeichnen wir im Allgemeinen die Dicke der Luftschicht für den ersten dunkeln Ring mit 2d, so werden die folgenden hellen und dunkeln Ringe folgenden Dicken der Luftschicht entsprechen:

Dunkle Ringe 0, 2d, 4d, 6d, 8d, 10d.
Helle Ringe 1d, 3d, 5d, 7d, 9d.

Es sind nun die Dicken der Luftschichten zwischen den einzelnen dunkeln Ringen gemessen und, je nachdem

sie hinter dem Mittelpunkte bis zum ersten dunkeln Ringe liegen als Farben erster Ordnung, zwischen dem ersten und zweiten dunkeln Ring, Farben zweiter Ordnung u. s. w. genannt worden. Es sind demnach die Farben der Ringe und die Dicken der Luftschichten:

Erste Ordnung.

1.	0,000114	Millim.	Bläulich-Weiß.
2.	0,000148	„	Bläulich-Gelb.
3.	0,000186	„	Roth.

Zweite Ordnung.

4.	0,000276	Millim.	Dunkel-Purpur.
5.	0,000360	„	Blau.
6.	0,000432	„	Gelb.
7.	0,000492	„	Roth.

Dritte Ordnung.

8.	0,000552	Millim.	Purpur.
9.	0,000602	„	Blau.
10.	0,000666	„	Gelblich-Grün.
11.	0,000712	„	Dunkel-Roth.

Vierte Ordnung.

12.	0,000828	Millim.	Blaß-Roth.
13.	0,000954	„	Blaß-Grün.

Im durchgelassenen Lichte sind die Farben ungleich blasser als im reflectirten Ringe und außerdem complementär. Man sieht beim durchgelassenen Lichte in der Mitte des Ringsystems einen hellen Flecken, und wendet man homogenes Licht an, so findet man, daß da die dunkeln Ringe zufallen, wo beim reflectirten Lichte die hellen waren, und umgekehrt. —

Neuntes Kapitel.

Polarisation des Lichtes.

---

§. 219. Eigenschaften des polarisirten Lichtstrahls.

Sahen wir schon in der Einleitung, als wir von der Theorie des Lichtes im Allgemeinen sprachen, die Erscheinungen, die man mit dem Begriffe des polarisirten Lichtes in Einklang zu bringen gesucht hat, angedeutet, so gehen wir hier näher auf die zuerst im Jahre 1811 von Malus entdeckten Thatsachen ein. —

Malus fand zuerst, daß es unter den gewöhnlichen Lichtstrahlen auch in der Art eigenthümliche giebt, daß sie nicht nach allen Seiten hin dieselben Beziehungen zeigen. Fällt z. B. ein Lichtstrahl ab (Taf. XXX, Fig. 2) auf eine ebene Glastafel oder einen Spiegel unter einem Winkel von 35° 25′ auf, so wird er zum großen Theile nach den Reflexionen gesehen, als bc reflectirt und dann heißt er polarisirt. Bringt man einen zweiten Spiegel parallel dem ersten an, so wird

natürlich der ankommende Strahl bc ebenfalls unter einem Winkel von 35° 25′ reflectirt und die drei Strahlen ab, bc und cd liegen in einer Ebene (Polarisationsebene). Dreht man nun aber den obern Spiegel, so daß bc die Umdrehungsaxe bildet, so bleibt zwar der austretende Strahl unter demselben Winkel gegen den Spiegel geneigt, allein der Parallelismus der Spiegel hört auf und die Reflexionsebene des obern Spiegels fällt nicht mehr mit der des untern zusammen. Je mehr aber dieser Parallelismus sich verändert, je mehr die Reflexionsebene des Spiegels zur senkrechten Lage des untern Spiegels sich hinneigt, je mehr schwindet die Intensität des reflectirten Lichtstrahls, ja sie wird ganz verschwinden, sobald auf der Ebene abc die Ebene bcd senkrecht steht. Bewegt man aber, weiter drehend, den obern Spiegel so lange, bis er gegen den untern eine antiparallele Lage angenommen, so wächst bis dahin die Intensität und zeigt sich in ihrer ganzen Stärke, weil die eintretenden und reflectirten Strahlen wieder in einer und derselben Ebene liegen, und so wiederholt sich diese Erscheinung, je nach der Lage der Ebenen, und der reflectirte Strahl tritt in voller Stärke auf und verschwindet abwechselnd.

§. 220. Nörrenberger's Polarisationsapparat.

Apparate, welche diese eben beschriebene Erscheinung deutlich zeigen, hat man Polarisationsapparate genannt. — Nörrenberger construirte nach Malus, der eine Röhre genommen und unten und oben zwei Spiegel unter der erwähnten Neigung angebracht, einen etwas complicirteren Apparat. Zwischen zwei Rähmchen, die auf einem schweren, nicht leicht beweglichen Fuße ruhen, befestigte er unten einen um seine horizontale Axe drehbaren Spiegel (Taf. XXX, Fig. 3), über ihn eine Scheibe aus gutem Glase, die in einem in Grade getheilten Ringe drehbar, oben einen zweiten

Spiegel, der ebenfalls, nicht nur um seine horizontale Axe drehbar, sondern auch, durch zwei Rähmchen gehalten, mit diesen in einem Ringe befestigt, um sich selbst drehbar ist. Man stellt nun zunächst den untern Spiegel so, daß seine Ebene mit der Vertikalen einen Winkel von 35° 25′ macht. Fällt nun ein Lichtstrahl ab unter dem erwähnten Winkel auf den Spiegel, so geht er zum Theil hindurch und dieser Theil ist für uns gleichgültig, zum Theil wird er in der Richtung bc vertikal nach unten reflectirt. Dieser reflectirte Strahl ist nun polarisirt und die Ebene abc ist die Polarisationsebene. Unten befindet sich wagerecht ein auf der Rückseite belegter Spiegel, der den senkrecht ankommenden Strahl in derselben Richtung nach oben zum zweiten Spiegel reflectirt, der nun, damit das Licht durch ihn nicht hindurchgehe, entweder aus schwarzem Glase besteht oder wenigstens auf der Rückseite geschwärzt ist. Stellt man nun beide Spiegel genau parallell, was man immer vermittelst der Eintheilung in Grade an den Ringen thun kann, so erblickt man den vollen auffallenden Strahl, dreht man den obern Spiegel (Zerlegungsspiegel, Analysator) um 90° (wie in der Figur), so verschwindet der Strahl, er wächst dann bis 180°, nimmt ab bis 270° und wächst abermals bis 360°, um aufs Neue den Kreislauf zu beginnen. — Die Glasplatten, das Tischchen, dient dazu, um durch durchsichtige Körper, die man auflegt, einen polarisirten Lichtstrahl hindurchgehen zu lassen.

Es fragt sich nun zunächst, ob dieser Winkel, unter dem man den Lichtstrahl hier speciell auf Glas fallen ließ, immer derselbe, oder ob er für verschiedene Substanzen immer ein anderer ist. Seitdem Brewster das Gesetz feststellt, daß der Polarisationswinkel jedesmal bestimmt und zwar derjenige ist, für welchen der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht, ist die Frage natürlich dahin zu beantworten, daß allerdings der Polarisationswinkel für verschiedene Substanzen ein anderer ist, und prakti-

sche Beobachtungen haben diese Ansicht bestätigt. Er beträgt z. B. für Obsidian 33° u. s. w. Es ist auch wohl einzusehen, daß, da der Brechungsexponent der verschiedenfarbigen Strahlen nicht derselbe ist, selbst für eine und dieselbe Substanz der Polarisationswinkel nicht für die Strahlen aller Farben derselbe sein kann, und hieraus folgt, daß ein Strahl weißen Lichtes durch Reflexion niemals vollständig polarisirt sein kann. —

Wir sahen eben, daß ein Theil der Lichtstrahlen, die unter dem Polarisationswinkel auf eine Glastafel fallen, durch diese hindurchgehen. Betrachtet man diese näher, so findet man, daß sie ebenfalls Spuren von Polarisation zeigen, und zwar steht ihre Polarisationsebene rechtwinkelig auf der Polarisationsebene der an der Vorderfläche reflectirten Strahlen. Läßt man also diese schwach polarisirten Strahlen durch eine zweite, dritte u. s. w. bis durch eine zehnte Glastafel etwa durchgehen, die man natürlich alle unter dem Polarisationswinkel geneigt hat, so erhält man ein System von Platten, die, in einen Ring oder in eine Röhre gefaßt, man als Zerlegungsspiegel oder als Kopf des Polarisationsapparates gebrauchen kann.

§. 221. Polarisirende Eigenschaften des Turmalins.

Außerdem kann man sich statt des Zerlegungsspiegels von Glas einer Turmalinplatte bedienen, deren Oberflächen der krystallographischen Hauptaxe dieses Minerals parallel sind. Giebt man dieser Platte eine solche Stellung, daß ihre krystallographische Axe rechtwinklig auf der Polarisationsebene der einfallenden Strahlen steht, so läßt sie die Strahlen so gut hindurch, als es nur immer die Farbe des Turmalin erlaubt; macht aber die Axe der Platte einen andern Winkel mit der Polarisationsebene des einfallenden Strahles, so wird das Licht um so schwächer, je mehr die Platte in diese

Ebene hineinfällt. Wir sehen somit hier den Fall eintreten, den wir vorhin bei den gekreuzten Spiegeln wahrnahmen, während bei der rechtwinkeligen Stellung der Axe sich die ähnlichen Erscheinungen wie beim Parallelismus der Spiegel darbieten. Hieraus geht auch wohl hervor, daß wenn man zwei parallel mit der Axe geschnittene Turmalinplatten so aufeinander legt, daß ihre Axen parallel sind, sie auffallendes Licht durchlassen, als ginge es durch eine und zwar eine dicke Platte, daß jedoch das durchgehende Licht schwächer und schwächer wird, je mehr man nur eine Platte um ihre Axe dreht, bis daß beide einen rechten Winkel bilden.

Biegt man nun einen Messingdraht in die Form einer Zange und setzt an beide Enden je einem Turmalinkrystall so ein, daß der eine drehbar ist, so kann man einen durchsichtigen Körper dazwischen bringen und ihn beobachten, wenn polarisirtes Licht hindurchgeht. Man nennt diese Vorrichtung eine **Turmalinzange**.

§. 222. Die doppelte Lichtbrechung in Krystallen.

Die Untersuchungen über die Polarisation haben größere und bedeutendere Resultate von der Zeit ab geliefert, als man anfing die Gesetze der **doppelten Lichtbrechung in Krystallen** genauer zu erforschen. — Schon **Erasmus Bartholinus** hatte 1669 Beobachtungen, die er am isländischen Kalkspath gemacht, veröffentlicht, denn schon er hatte wahrgenommen, daß nicht immer beim Uebergang eines Lichtstrahls aus einem Medium in ein anderes nur ein einziger gebrochener Strahl entstände, sondern daß es Körper gebe, (**doppeltbrechende Körper**), die den einfallenden Strahl in zwei gebrochene Lichtstrahlen spalten. Seine Beobachtungen bestätigten sich vollkommen, denn es ist bekannt, daß wenn man auf eine Fläche eines Rhomboeders ein Blatt mit einem schwarzen Strich etwa,

oder einem Punkt u. s. w. legt und durch die gegenüberliegende Fläche hindurch sieht, man zwei Striche, respect. Punkte erblickt. — Wir müssen, um diese Erscheinungen erklären zu können, nach der Vibrationstheorie annehmen, daß sich die Lichtwellen in einem stärker brechenden Mittel langsamer fortpflanzen; es hängt somit die ungleiche Ablenkung der beiden Strahlen mit der ungleichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit insofern zusammen, als der stärker gebrochene Strahl sich mit geringerer Geschwindigkeit durch den Krystall fortpflanzt, als der andere, oder was dasselbe, weil für den stärker gebrochenen Strahl die Wellenlänge kürzer als für den andern Strahl ist. — Um nun aber die Geschwindigkeiten zu ermitteln, mit welchen die beiden Strahlenarten den Krystall durchlaufen, muß man die Brechungsexponenten für dieselben bestimmen, was bekanntlich am besten mit Hülfe von Prismen geschieht. Man hat gefunden, daß der Brechungsexponent des einen Strahls beständig 1,654 beträgt und hat diesen den gewöhnlichen, ordentlichen oder ordinären (o), den andern jedoch, dessen Brechungsexponent zwischen den Grenzen 1,654 und 1,483 liegt, den extraordinären (e) genannt.

Die Geschwindigkeit der extraordinären Strahlen ist um so geringer, je mehr sich die Richtung, in welcher sie den Krystall durchlaufen, der Hauptaxe des Krystalls nähert, in der Richtung dieser Axe selbst aber pflanzen sich alle Strahlen mit einer Geschwindigkeit, wie sie dem Brechungsexponent 1,654 entspricht, also mit der Geschwindigkeit der ordinären Strahlen fort. Da nun die Richtung der Hauptaxe, in der also gleichsam gar keine doppelte Brechung stattfindet, optisch von jeder andern Richtung im Krystalle verschieden ist, führt sie den Namen der optischen Axe. Alle Krystalle nun, die nur eine optische Axe haben und bei denen die ordinären Strahlen stärker als die extraordinären genannt werden, heißen negative Krystalle und es gehören zur Klasse der einaxigen negativen Krystalle außer dem Kalkspath, dem Turmalin, dem Honigstein, Corund, Sa-

phir, Beryll, Apatit u. s. w. noch mehrere Salze, wie z. B. posphorsaures Bleioxyd, Blutlaugensalz, salpetersaures Natron (Salpeter) u. s. w. Umgekehrt hat man Substanzen, bei denen der extraordinäre stärker gebrochen wird, einaxige positive Krystalle genannt und dazu den Quarz, das Eisenoxyd, das Eis u. s. w. gezählt.—

§. 223. Polarisation durch doppelte Brechung.

Wichtig wurde die Beobachtung, daß die Lichtstrahlen, die durch irgend einen doppelt brechenden Körper gegangen, polarisirt sind. Man kann leicht diese Untersuchung anstellen, wenn man zwischen Auge und den Kalkspath, der zwei Bilder irgend eines Gegenstands erblicken läßt, eine polarisirende Turmalinplatte bringt. Man wird sehr bald eine Stellung der Turmalinplatte ermitteln können, in welcher nur eines der beiden Bilder im Kalkspath sichtbar ist; dreht man nun langsam die Turmalinplatte, so wird auch bald das zweite Bild erscheinen und zwar um so stärker und deutlicher, je schwächer und undeutlicher das erste wird und je mehr die Stellung der Platte eine andere wird und sich dem Winkel von 90° nähert. Dreht man weiter, so wird abwechselnd das eine und das andere Bild deutlicher hervortreten. Hieraus folgt nicht nur, daß die Lichtstrahlen der beiden Bilder polarisirt sind, sondern daß auch die Polarisationsebene des einen Bildes senkrecht auf der des andern steht, und daß die beiden Strahlenarten, die sich jedesmal durch einen doppeltbrechenden Krystall fortpflanzen, rechtwinkelig zu einander polarisirt sind. Genauere Untersuchungen haben ferner gezeigt, daß wenn man sich durch die Richtung, in welcher ein Lichtstrahl den Krystall durchläuft, und die Richtung der optischen Axe eine Ebene gelegt denkt, die man als Hauptschnitt bezeichnet, dann die Schwingungen des ordinären Strahls stets rechtwinkelig auf der Ebene des

Hauptschnitt, also auch rechtwinkelig auf der Richtung der optischen Axe sind, während die Schwingungen, welche den extraordinären Strahl fortpflanzen, sich in der Ebene des Hauptschnitts befinden.

§. 224. Doppeltbrechende Prismen als polarisirende Apparate.

Da nun, wie wir eben gesehen, alle Strahlen, die einen doppeltbrechenden Krystall durchlaufen haben, polarisirt sind, so wird man auch doppeltbrechende Prismen, namentlich statt der Polarisations-Zerlegungsspiegel, mit Vortheil anwenden können. —

Will man als Analysator oder Zerleger des polarisirten Lichts ein doppeltbrechendes Prisma anwenden, so thut man gut, dasselbe durch ein Glasprisma zu achromatisiren, damit keine Farbenzerstreuung stattfinde. Diese findet nämlich nicht statt, sobald man ein Kalkspathprisma und ein Glasprisma von gleichem brechenden Winkel zusammenkittet; auch der extraordinäre Strahl zeigt keine Ablenkung. —

Interessant war die Entdeckung Nicol's zwei Kalkspathprismen so zu combiniren, daß nur die polarisirten Strahlenbündel hindurchgehen. Er construirte das Prisma folgendermaßen: Er nahm zwei Kalkspathstücke und schliff statt der natürlich vorkommenden obern Fläche (Tafel XXX, Fig. 4), die mit der stumpfen Kante K einen Winkel von 71° macht, eine neue an, die nur einen Winkel von 68° bildet. Dann schliff er von der Ecke E her eine neue Fläche F an, die mit der vorhergehenden erwähnten einen rechten Winkel bildet. Nachdem Nicol diese Prismen geschliffen, klebte er beide Prismen so aneinander mittelst Canada-Balsam, daß beide Flächen F auf einander lagen. Es stellt nun Fig. 1, Taf. XXXI den durch die Kanten K gelegten Durchschnitt eines Nicol'schen Prismas dar. Ein Strahl ab, der die obere Fläche trifft, wird beim Eintritt in den Kry-

stall in den ordinären b c und den extraordinären b d gespalten. Der ordinäre Strahl erleidet an der Balsamschicht, deren Brechungsexponent 1,54 ist, eine totale Reflexion, während nur der extraordinäre Strahl durch die Balsamschicht hindurch in das untere Prisma tritt, um endlich parallel mit ab aus denselben wieder auszutreten. Dieser Apparat liefert also nur ein polarisirtes Bild und kann somit selbstverständlich als Zerlegungsspiegel sehr gut benutzt werden. —

§. 225.

Auf ähnliche Weise ist Rochon's Mikrometer (Taf. XII, Fig. 7) construirt, indem man zwei Prismen von Bergkrystall von obs und obs' so zusammengekittet hat, daß die optische Axe des einen rechtwinkelig auf der Fläche sb, also mit der Fläche so parallel ist, während die optische Axe des zweiten Prisma's parallel mit der Durchschnittskante der Fläche os' und bs' läuft, s somit senkrecht auf der Ebene der Zeichnung steht. Fallen nun von irgend einem Gegenstande Lichtstrahlen senkrecht auf die vordere Fläche sb, so werden die ordinären Strahlen geradezu hindurchgehen, die extraordinären hingegen werden eine Ablenkung erfahren, sobald sie in das zweite Prisma eintreten. Der Winkel e, der dadurch zwischen dem ordinären Strahle entsteht, wird jedesmal von der Größe des brechenden Winkels bos' abhängen, und man wird e berechnen können, da ja die Brechungsexponenten der extraordinären und der ordinären Strahlen im Bergkrystall bekannt sind. Besser indeß ist es, den Ablenkungswinkel e jedesmal direct durch den Versuch zu bestimmen.

Visirt man nämlich einen Gegenstand durch ein solches Prisma, so erblikt man zwei Bilder, die je nach der Größe und Entfernung des Gegenstands theilweise einander decken oder durch einen Zwischenraum von einander getrennt sind. Ist nun der zu visirende Gegenstand

eine Scheibe, so ist es leicht möglich, die beiden Bilder einander berühren zu lassen, und dann erscheinen die beiden Mittelpunkt genau um den Durchmesser der Scheibe d getrennt. Ist die Scheibe in der Entfernung z, so ist

$$\text{tg. } e = \frac{d}{z}$$

und man kann somit, wenn zwei Größen bekannt, immer die dritte durch Rechnung finden. —

Dieses Prisma wird nun vorzugsweise in Fernröhren angewendet, und indem man es so zwischen Ocular und Objectiv bringt, daß es beweglich, bald von dem Objectiv entfernt oder ihm genähert werden kann, dient es zur Messung der Durchmesser oder der Entfernung von Gegenständen. Ein Fernrohr mit diesen Vorrichtungen führt nach seinem Erfinder den Namen Rochon's Mikrometer. — Richtet man nun das Fernrohr auf irgend einen Gegenstand und verschiebt das Prisma so, daß die beiden Bilder in Berührung kommen, so kann man nach der Formel

$$\text{tg. } v = \frac{h}{f} \text{ tg. } e$$

die Größe des Gesichtswinkels v berechnen, unter welchem der Gegenstand ohne Fernrohr erscheint, wenn e ein für allemal für das Prisma ermittelt und f die Brennweite des Objectivs bekannt ist. h bezeichnet die Entfernung des Prisma's von dem Bilde für den Fall, daß die Bilder sich gerade berühren, und es muß die Einrichtung getroffen sein, daß man diese Entfernung an einer außen am Fernrohre angebrachten Theilung ablesen kann*). —

*) Arago hat sich dieses Instruments lange bedient und damit mehr als dreitausend Bestimmungen von Planetendurchmessern gemacht, doch zeigten sich namentlich insofern dabei Uebelstände, als der Achromatismus des Prisma's nicht gleich für beide Bilder war und dieser Fehler daher bei starken Vergrößerungen unerträglich wurde. Man sah ferner durch die vergrößernde Linse die Unebenheiten des Prisma's, und überhaupt war es unangenehm, das Prisma

§. 226. Dove's Polarisationsapparat.

Wir sind nun nach diesen Betrachtungen im Stande genauer von dem Polarisations-Apparat, wie ihn Dove in Berlin construirt, zu sprechen: Wir lassen die Beschreibung folgen, wie sie von diesem gelehrten Physiker selbst gegeben: Auf einem dreibeinigen messingenen Fernrohrstativ mit horizontaler und verticaler Bewegung, dessen Höhe mittelst der Klemmschraube a vergrößert werden kann (Taf. XXIII. Fig. 4) von 16 bis auf 25 Zoll, ist in einer Hülse ein dreiseitiges, 2 Fuß langes in Pariser Zoll und Linien getheiltes messingenes Prisma bc verschieblich. Dieses Prisma trägt 6 Schieber s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, die sich vermittelst Klemmschrauben an jeder Stelle der Skale befestigen lassen, und an welchen sich oben in Ringe endende Ständer befinden. Die Mittelpunkte sämmtlicher Ringe liegen in einer dem dreiseitigen Prisma parallelen Geraden, welche die optische Axe des Instruments ist. Von den 6 Schiebern trägt s_6 die Collectivlinse p von 12 Zoll Brennweite und 3 Zoll Oeffnung, s_2 die polarisirende

---

im Rohre zu haben. — Arago befestigte nun das Prisma draußen. Prismen, etwas breiter als die Pupille und eine continuirliche Reihe bildend, folgen aufeinander, mit Unterschieden von 30 und selbst 15 Sekunden, von der kleinsten Divergenz der ordentlichen und außerordentlichen Strahlen bis zur größten; sie sitzen zu Reihen gereiht in den Oeffnungen von Kupferstücken in Fischbändern und sind mit diesen verschiebbar längs einer Ruthe auf dem Stücke, welches dazu dient, das ganze System am Oculartäger eines jeden Fernrohrs anzubringen. Der Astronom hat nur die Fischbänder vor seinem Auge vorübergehen zu lassen und zuzusehen, welches Prisma ihm von dem beobachteten Gegenstande zwei einander berührende Bilder giebt; dann dividirt er den Trennungswinkel dieses Prisma's durch die Vergrößerung des Fernrohres.

Zuweilen wird das eine Prisma die Bilder zu stark, das andere zu wenig trennen. Dann hat man für den gesuchten Durchmesser zwei Grenzen, aus welchen man das Mittel nimmt. —

Vorrichtung e, s_3 die **analysirende** d aus einem **Nicol'schen** Prisma bestehende Vorrichtung.

Fällt nun paralleles Licht auf die Collectivlinse, so wird das polarisirende Prisma im Brennpunkte desselben sich befinden müssen, um alles auffallende Licht zu polarisiren. Beim Einstellen bleibt der **Nicol** fest, und nur die Collectivlinse wird so lange verschoben, namentlich wenn man Lampenlicht anwendet, bis das concentrische Licht der Lampe gerade in die Oeffnung des Prisma's fällt.

Um die Polarisationsebenen der beiden Prismen willkürlich zu verändern, sind an den Ringen der Ständer s_1 und s_2 eingetheilte Messingscheiben angebracht, auf welchen sich ein an den Prismen angebrachter Zeiger bewegt, der, wenn er rückwärts über den Befestigungspunkt verlängert gedacht wird, mit der kürzeren Diagonale der rhombischen Grundfläche des **Nicol'schen** Prisma's zusammenfällt. Die Eintheilung des Kreises ist so aufgetragen, daß bei verticaler Stellung des Ständers die durch die Punkte 0° und 180° gehende Gerade horizontal liegt. — Die Kreistheilung des polarisirenden Prisma's befindet sich auf einem ringförmigen, durch zwei feste Durchmesser in vier Quadranten getheilte Kreise.

Die Ständer, welche die **Nicol'schen** Prismen tragen, lassen sich leicht horizontal und vertical stellen, dasselbe gilt auch vom Ständer s_3. Bei heiterem Wetter, wo das von dem Himmelsgewölbe reflectirte Licht mehr oder weniger stark polarisirt ist, richtet man das Instrument auf eine hellbeleuchtete Mauer, oder man dreht, nachdem man das polarisirende Prisma mit seiner Scheibe horizontal gelegt hat, das analysirende so lange, bis man in einer im Ringe b des Schiebers s_4 befindlichen senkrecht auf die Axe geschnittenen Kalkspathplatte das Ringsystem mit dem schwarzen Kreuz erhält, und stellt dann das polarisirende Prisma e wieder vertical und dreht dasselbe so lange, bis man dieselben Erscheinung im Kalkspath wahrnimmt. Der Zeiger des polarisirenden Prisma's e giebt dann die Richtung der Po-

larisationsebene des einfallenden Lichtes an, und die Ringe erscheinen dann in größter Klarheit.

Stellt man den Ständer s_4 parallel der Weltaxe, so zeigt der Zeiger des nach dem vorigen Verfahren orientirten Prisma's e nach der Sonne, und die Theilung desselben dient dann als Sonnenuhr, die ihre Dienste auch in der Dämmerung verrichtet.

Das von dem polarisirenden Prisma (oder einem unter dem Polarisationswinkel aufgestellten geschwärzten Spiegel) divergirend ausgehende Licht wird zuerst von einer unter v angedeuteten Convexlinse von $1\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite, deren Entfernung von der Oeffnung e 3 Zoll beträgt, und welche unmittelbar auf der Mitte der getheilten Kreisscheibe befestigt ist, aufgefangen und fällt dann auf die 3 Zoll entfernte Linse k von $1\frac{1}{2}$ Zoll, oder kürzerer Brennweite, des Ständers s_3. Von hier aus geht es durch den im Ringe l befindlichen, im polarisirten Lichte zu untersuchenden Krystall des Ständers s_4 und nun in das analysirende Prisma d, in dessen untern Ende eine unter n angedeutete Hohllinse von 4 bis 5 Zoll Brennweite eingeschraubt ist. Die Linse kann auch, namentlich für Weitsichtige, weggelassen werden. Dem Ringe l kann vermittelst einer Kugelbewegung jede beliebige Neigung gegen die Axe des Instruments gegeben werden. Bequemer ist es, wenn man dem Krystallhalter eine Ringform giebt und diesen Ring an einem Stativ befestigt, so daß man mehrere Bewegungen hervorbringen kann.

Der Ring m nahe in der Brennweite von k ist zur Aufnahme gekühlter Gläser, Gypsblättchen u. s. w. Am besten sind diese so zu bearbeiten, daß sie einen halben Zoll Durchmesser haben. Große gekühlte Gläser werden in den Ring des Ständers s_6 gesetzt und dann durch das analysirende Prisma beobachtet, nachdem das polarisirende Prisma v und die Linse k zur Seite gebogen, und die Ringe m und n aus den Ständern s_3 und s_4 herausgenommen worden sind. — Soll das Licht durch einfache Brechung polarisirt werden, so be-

festigt man vor der Objectivlinse nach c hin auf einem besondern Schieber einen Satz dünner Glasscheiben, der in einem drehbaren Ringe, durch zwei Stifte befestigt, jede beliebige Neigung annehmen kann. Am besten ist es dann wohl, den Glassatz in eine cylindrische Röhre, ähnlich wie einen Nicol, einzuschließen, und man hat dann leicht folgende Combinationen:

1. Zwei Prismen Nicol's.
2. Einen Nicol und einen ebenen Spiegel.
3. Einen Nicol und einen Glassatz.
4. Zwei ebene Spiegel.
5. Einen ebenen Spiegel und einen Glassatz.
6. Zwei Glassätze. —

Es ist nun wohl einzusehen, daß man, nach der Einsicht in die Theorie der Apparate, die zur Polarisirung des Lichts bestimmt sind, leicht größere oder kleinere Modificationen anbringen kann. So sind bei Greßler Apparate zu finden, die aus einem Messingrohre bestehen, dessen oberer Theil drehbar ist. Unten ist ein unter dem Polarisationswinkel geneigter und geschwärzter Spiegel, der die Strahlen durch ein Glastischchen zum Zerlegungsspiegel sendet. Auf diesen sieht man durch ein in dem obern Theile des Messingrohrs befindliches Löchelchen und erhält dabei so wenig als möglich fremdartiges Licht. —

Es kommt nun darauf zunächst an, die lineare Polarisation und Analyse auf bequeme Art in circulare und elliptische zu verwandeln. —

Ehe wir jedoch zu der Darstellung dieser Erscheinungen übergehen, schicken wir Folgendes voran: Haben wir zwei aufeinander senkrecht polarisirte Wellensysteme, (zwei Strahlen, wie schon früher bemerkt, deren durchgehende und reflectirte Ebenen aufeinander senkrecht stehen) so erzeugen diese bei ihrem Zusammentreffen, wenn ihr Gangunterschied Null und wenn er eine halbe Welle ist, nicht Coincidenz und Interferenz, also Hell und Dunkel, sondern ein geradlinig polarisirtes Licht, dessen Polarisationsebene den Winkel zwischen jenen beiden Po-

larisationsebenen halbirt, und zwar, wenn das Halbiren im ersten Falle auf der linken Seite geschieht, dann im zweiten Falle auf der rechten, und umgekehrt. —

Ist dagegen der Gangunterschied beider Wellensysteme ein Viertel, oder drei-, fünf-, sieben- u. s. w. Viertel, so muß Licht entstehen, welches weder die Eigenschaften des natürlichen noch des polarisirten Lichts hat. Sonst ist es gleichgültig um wie viel ganze Oscillationen sich beide Wellensysteme außerdem unterscheiden. Es entsteht somit das circular-polarisirte Licht. und Airy schaltete ein dünnes Glimmerblättchen zwischen beide Spiegel des Apparats und polarisirte es somit circular, während Dove einen Glaswürfel erwärmte und sämmtliche verschiedene Polarisationserscheinungen nebst ihren Uebergängen wahrnahm. Dann unterscheiden sich die zusammentreffenden polarisirten Wellensysteme um einen Theil einer Schwingung, der nicht gerade ein Viertel u. s. w. ist, so wird das Licht Eigenschaften erhalten, die zwischen denen des linear polarisirten und den des zuletzt erwähnten circular-polarisirten liegen, es wird mit allen verschiedenen Graden der Berührung an das eine und an das andere im Allgemeinen immer elliptisch polarisirt sein. —

Auch diese elliptischen Polarisationserscheinungen nimmt man beim allmäligen Erwärmen des Glaswürfels wahr.

Kehren wir nun zu dem Dove'schen Polarisationsapparate zurück und sehen, wie wir die erwähnten Polarisationserscheinungen wahrnehmen können. Es geschieht auf folgende Art: Die um die Zapfen n und o drehbaren Arme f und g enthalten Blättchen von zweiaxigem Glimmer, von der Dicke, daß sie, wenn sie aus der Lage, in welcher sie das lineare Licht unverändert lassen, um 45° rechts oder links von der Ebene der primitiven Polarisation gedreht sind, zwischen den beiden durch Doppelbrechung in diesen Blättchen entstehenden Strahlen gerade einen Gangunterschied von ¼ Undulation hervorbringen. —

Liegen beide Blättchen zur Seite, so wird das geradlinig polarisirte Licht geradlinig analylisirt. Will man das geradlinig polarisirte Licht circular analysiren, so wird f vorgelegt. Soll circular polarisirtes Licht linear analysirt werden, so wird f zur Seite gebogen und g vorgelegt. Beide Blättchen müssen, wie in der Figur gezeichnet, vorliegen, wenn circular polarisirtes Licht circular analysirt werden soll. Der Hauptschnitt des Glimmerblättchens ist auf der Fassung desselben angegeben. Läßt man ihn, statt den Punkten 45° und 135° zu entsprechen, durch andere Theilungspunkte gehen, so erhält man die Erscheinungen der elliptischen Polarisation und zwar alle Uebergänge des rechts circularen durch rechts elliptisches, lineares, links elliptisches in links circulares, wenn das Blättchen in seiner Ebene von ff nach gg gedreht wird. Um die Stellung des Glimmerblättchens in den verschiedenen Azimuthen der Drehung zu finden, projicirt man einen in der Verlängerung von gg am Ringe befindlichen Stift auf die Kreistheilung des polarisirenden Prisma's.

Um größere gekühlte Gläser in circular polarisirtem oder elliptischem Lichte zu untersuchen, spaltet man sich ein, einen Gangunterschied von $\frac{1}{4}$ Welle gebendes Glimmerblatt von der Größe der Oeffnung der Beleuchtungslinse und befestigt dasselbe in einem auf dem Ständer s_6 drehbaren Ringe. Dieser Schieber trägt daher zwei Ständer, einen q zur Aufnahme der gekühlten Gläser und r unmittelbar dahinter zur Aufnahme des circular polarisirenden Glimmerblattes.

Soll statt des weißen Lichts einfarbiges oder dichromatisches einfallen, so werden Holzringe von 1 Zoll Durchmesser mit farbigen Gläsern vor die Oeffnung des polarisirenden oder analysirenden Prisma's befestigt. Man kann auch das Licht einer monochromatischen Lampe durch die Beleuchtungslinse auf die Oeffnung des polarisirenden Prisma's fallen lassen.

Am besten eignet sich hierzu Bunsen's Lampe, die so eingerichtet ist, daß man auf die obere Mündung der

Bunsen'schen Kochlampe ein Röhrchen aufsetzt, das aus derselben Masse wie die Kohlencylinder zu Bunsen's Kette besteht. Ein solches conisches Röhrchen wird mit dem Salze imprägnirt, welches die Flamme färben soll und zwar dadurch, daß es längere Zeit in die concentrirte Lösung des Salzes gelegt wird. So liefert Chlornatrium eine gelbe, Chlorstrontian eine rothe, Chlorkupfer eine blaugrüne Flamme. Auch durch ein Prisma (siehe Brechung durch das Prisma) kann man diese monochromatischen u. s. w. Flammen untersuchen.

Bei Sonnenschein nimmt man die Beleuchtungslinse fort und wirft die Farben des Sonnenspectrums nach einander durch Drehung eines guten Flintglasprisma's direct auf die Oeffnung des polarisirenden Nicols.

Hat man Krystalle von schwacher doppeltbrechender Kraft, z. B. Turmalin und Bergkrystall, so setzt man statt der Linse k in den Ständer s_3 eine stärker brechende Doppellinse ein, die man dadurch erhält, daß man der umgekehrt eingesetzten Linse k auf der dem Auge zugekehrten Seite eine planconvexe hinzufügt, deren hinterer Krümmungshalbmesser 3,4''' beträgt. Statt des Nicols in n wird ein Prisma angewendet zwischen einer dem Auge zugewendeten Planconvexlinse von 3,5''' Krümmungshalbmesser und einer Doppellinse aus zwei planconvexen 2''' von einander entfernten, bestehend, die in einer gemeinsamen Fassung befestigt sind und ihre convexen Seiten einander zukehren. Der Krümmungshalbmesser, der dem Nicol nächsten Linse ist 2,7''', der der entfernteren 3,5'''. —

Man sorgt für die gehörige Größe des Gesichtsfeldes, wenn die Linsen fehlen dadurch, daß man die Fassungen des Nicols nicht größer als 6''' macht und das Glimmerblättchen der analysirenden Vorrichtung dicht vor dem Nicol sich vorbeibewegen läßt.

Für circular polarisirende Flüssigkeiten werden alle Ständer außer s_2 und s_6 entfernt und diese dann so weit von einander entfernt, daß eine Röhre von hinlänglicher Länge zwischen beiden eingeschaltet werden kann.

Will man die optischen Erscheinungen in erwärmten Gläsern oder Krystallen untersuchen, so dreht man die Stange bc um 120° und steckt sie in die Fassung h, so daß die optische Axe dann, neben der Stange liegend, es zuläßt, daß die zu betrachtenden Substanzen, auf einer Metallplatte stehend, durch eine darunter stehende Lampe erwärmt werden.

Um die Ablenkung der Polarisationsebene durch einfache Brechung zu erhalten, werden die brechenden Körper in den Ständer s_6 gebracht. Die Ablenkung durch Reflexion kann, wenn man die optische Axe des Instruments parallel erhalten will, durch eine Anzahl gerader vielfacher Reflexionen erhalten werden. Es ist dann am bequemsten, den Ständer s_1 der Beleuchtungslinse und des polarisirenden Prisma's s_2 so zu construiren, daß er sich erhöhen läßt, so daß, wenn man die Beleuchtungslinse und das polarisirende Prisma um gleich viel erhöht, die Axe des aus der Beleuchtungslinse und das polarisirende Prisma um gleich viel erhöht, die Axe des aus der Beleuchtungslinse austretenden und auf die Oeffnung des polarisirenden Nicols fallenden Lichtkegels parallel mit sich in einer Ebene verschoben wird. Das aus dem Nicol austretende Licht, das polarisirt ist, fällt dann auf ein System zweier paralleler Metallspiegel, die ihre spiegelnden Flächen einander zukehren und durch Annäherung an einander die doppelte Reflexion in eine vierfache, sechsfache u. s. w. verwandeln. Dadurch, daß die beiden Spiegel um eine horizontale Axe drehbar sind, ist es zu ermöglichen, daß der Einfallswinkel des Lichts auf dieselben beliebig verändert werden kann. —

Um einfache Intensitätsversuche anzustellen, ist es vortheilhaft das Gesichtsfeld abzublenden. Dieses geschieht durch einen hohlen Cylinder von 1 Zoll Höhe, welcher auf das etwas hervorstehende Ende der Fassung der Linse k nach m hin aufgeschraubt wird. Die Oeffnung der Blendung im Boden dieses Cylinders ist $1\frac{1}{2}$ Linien. Man darf jetzt nur das analysirende Prisma

in seiner Fassung drehen, um die Abnahme der Intensität zu sehen, und nur ein Glimmerblättchen vorlegen, um wahrzunehmen, daß die Intensität des Lichts unverändert bleibt.

Ein auf den Ring l eingeschraubtes doppeltbrechendes Prisma giebt, wenn das polarisirende Prisma e zur Seite gebogen, k aber aufrecht gestellt und der Polarisationsspiegel nicht aufgesetzt ist, zwei auf einander senkrecht polarisirte Bilder der auf der Linse k aufgeschraubten Blendung, deren Intensitätsänderungen durch Drehung des analysirenden Prisma's u erhalten werden. Legt man das Glimmerblättchen f vor, so werden die Bilder, wenn der Hauptschnitt des doppeltbrechenden Prisma's lothrecht oder horizontal liegt, rechts und links circular polarisirt.

Schraubt man auf die durchgehende Fassung des analysirenden Prisma's eine senkrecht auf die Axe geschnittene Kalkspathplatte, so erhält man, wenn in l das doppeltbrechende Prisma befindlich ist, in den getrennten circular polarisirten Räumen die entsprechenden Modificationen des Ringsystems; befindet sich hingegen im Ringe l eine zweite ebenfalls auf die Axe senkrecht geschnittene Platte von Kalkspath, so ist es leicht durch Drehung dieses Rings, diese genau mit der ersten zu centriren.

Auf diese Weise kann man, wenn in f ein Glimmerblatt von bestimmter Dicke eingeschaltet wird, die Erscheinungen wahrnehmen, die sich sonst beim Kalkspathzwillinge zeigen. Liegt f zur Seite, so erhält man bei Drehung des Ringes l die aus der Combination zweier nicht centrirter Platten entstehenden isochromatischen Curve. —

§. 227. Einrichtungen des Polarisationsapparats zum Fernrohr und zum Mikroskop.

Diesem Polarisationsapparat können nun noch drei Convexlinsen, eine Hohllinse und ein mikroskopisches

Objectiv beigegeben werden und er verwandelt sich dadurch dann in ein offenes Fernrohr und ein offenes Mikroskop. Im ersten Falle ist die Beleuchtungslinse das Objectiv, die Ständer s_2, s_3, s_5 tragen die drei Convexlinsen. Man schlägt dann, nachdem s_2 von s_1 um die Summe ihrer Brennweiten entfernt, s_3 und s_5 um und erhält dann das astronomische Fernrohr, welches sich beim Aufrichten von k und u in ein terrestrisches verwandelt. In den Ring l kann man dann noch ein Fadenkreuz einsetzen. — Trägt s_2 eine Hohllinse, so bildet es mit s_1 ein galliläisches Fernrohr. Der Ständer s_6 trägt das mikroskopische Object, wenn s_1 entfernt und s_2 die mikroskopische Linse enthält. Das dann einfache Mikroskop verwandelt sich durch Hinzufügung einer Convexlinse als Collectiv in k und einer als Ocular in u in ein zusammengesetztes. —

Man kann nun auch den ganzen Apparat so einrichten, daß man ihn um seine Axe rotiren läßt, um namentlich Abweichungen der Farbenerscheinungen zu studiren, die jedoch als solche für den practischen Künstler keinen Werth haben. Wir bemerken deshalb hier nur, daß statt der Ständer s_2 und s_5 zwei gleich hohe aufgesetzt werden, in deren feststehenden Ringen hohle Rollen vermittelst des Schnurlaufs eines Schwungrads mit zwei Rinnen in eine schnelle Drehung versetzt werden können. Beide Rollen können sich in gleichem Sinne drehen, oder auch durch Kreuzung der Schnur im entgegengesetzten. In die hohlen Rollen können auf beiden Seiten derselben Nicols oder Turmaline, circular-polarisirende Glimmerblättchen oder geschliffene Bergkrystallplatten eingeschraubt und somit in Drehung versetzt werden. —

§. 228. Erscheinungen bei doppeltbrechenden Krystallen im polarisirten Lichte.

Eigenthümliche Erscheinungen bieten doppeltbrechende Krystallplatten im polarisirten Lichte dar.

Bringt man das Gypsblättchen, welches etwa 0,3 Millimeter dick ist, zwischen die beiden Spiegel eines Polarisationsapparats, so wird es mehr oder weniger brillant gefärbt erscheinen, und diese Farben ändern, wenn man den Zerlegungsspiegel allmälig dreht. Die Farben sind auch von der Dicke abhängig, denn die Beobachtung lehrt, daß die Blättchen im Polarisationsapparat einfarbig erscheinen, sobald die Oberflächen vollkommen eben sind, farbig dagegen, sobald sie gesplittert, also uneben sind. — Wir wollen hier nicht weitläufig diese Erscheinungen theoretisch begründen, da diese Theorie für den practischen Künstler keinen besondern Werth hat, sondern nur bemerken, daß diese Farben Interferenzfarben, wie wir sie schon früher kennen gelernt, sind. Man kann dieses auf folgende Art beweisen: Man befestigt hinter einem engen Spalte, der in einiger Entfernung von einem Heliostaten aufgestellt ist, in der Richtung des durchgehenden Lichtstrahls zwei Nicols dicht hinter einander, so daß er beiden durchdringen muß. Zwischen diese bringt man ein Gypsblättchen, dessen Hauptschnitt unter 45° gegen die Polarisationsebene beider Prismen geneigt ist. Fällt alsdann das durchgegangene Licht auf ein Prisma, wie bei dem früher ausführlich beschriebenen Versuch mit den Fraunhofer'schen Linien, so wird es zerlegt und das Spectrum kann entweder durch's Fernrohr betrachtet oder auf einem weißen Schirm aufgefangen werden. Es besteht, je nach der Dicke der Blättchen, aus verschiedenen Farben und einer großen Anzahl dunkler Linien. Auch die Thatsache, daß in einem linsenförmig concav geschliffenen Blättchen die Newton'schen Ringe zum Vorschein kommen, spricht für die Interferenzfarben. — Man wird demnach, was wir hier nicht weiter ausführen wollen, ganz ähnlich, wie früher ausführlich besprochen, die Ordnungen der Newton'schen Farben auftreten sehen und zwar verändert, je nachdem die Polarisationsspiegel parallel oder gekreuzt erscheinen. Immer aber findet hier die Erscheinung statt, daß die Farben der Gypsblättchen zwischen den gekreuzten und den parallelen

Spiegeln sich zu Weiß ergänzen, also Complementärfarben sind, die sich hier in größter Reinheit und Schönheit zeigen. —

§. 229. Airy's und Soleil's Linsenapparat.

Am schönsten und vollständigsten lassen sich die Farbenringe im Polarisationsapparate mit Hülfe des von Airy angegebenen Linsenapparats zeigen. Es befindet sich unter der zu beobachtenden Krystallplatte eine Linse und über der Platte eine zweite Linse, die um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernt sind, so daß sich der Krystall in dem gemeinschaftlichen Brennpunkte derselben befindet. Durch die untere Linse convergiren nur solche Strahlen nach dem Krystalle, die durch den untern Spiegel vollständig polarisirt sind, die zweite Linse läßt sie parallel heraustreten und wirft sie auf den obern Spiegel, von dem sie vollständig zerlegt nach einer dritten Linse geworfen werden, die sie für das Auge convergirt. Die Brennweiten aller drei Linsen sind einander gleich. —

Soleil hat (Taf. XXX, Fig. 5) einen ähnlichen Apparat construirt, indem die drei Linsen b, c, d, jede von 3 Centimeter Brennweite, aufgestellt sind. In dem gemeinschaftlichen Brennpunkte der Linsen b und c, welche um die Summen ihrer Brennweiten abstehen, befindet sich der Krystall. In a ist der Polarisationsspiegel, der die Strahlen parallel auf die Linse b wirft; sie werden nun auch als Parallelstrahlen die Linse c verlassen und die Linse d treffen, durch die sie convergent werden. Als Analysator dient eine Turmalinplatte t, und ein Mikrometer, das zwischen den Linsen c und d angebracht ist, bewirkt, daß genaue Messungen angestellt werden können. Auch ist das Gehäuse, welches den Krystall trägt, um eine horizontale Axe drehbar, und kann die Drehung an einer getheilten Scheibe abgelesen werden.

Nachdem wir im Vorhergehenden im Allgemeinen die Erscheinungen der Circularpolarisation kennen gelernt,

wollen wir hier noch einige für die Beobachtung vortheilhafte Apparate anführen.

§. 230. Baden Powell über Flüssigkeiten im polarisirten Lichte.

Baden Powell hat im Philosoph Magazine die Construction eines Apparats mitgetheilt, dessen Beschreibung wir nach Poggendorff folgen lassen:

Der in dem Folgenden beschriebene Apparat ist nicht zu genau messenden Untersuchungen bestimmt, sondern hat nur zum Zweck, die Erscheinungen bei Einwirkung gewisser Flüssigkeiten auf das polarisirte Licht im Allgemeinen kennen zu lehren.

Man sieht ihn in Taf. VI, Fig. 23 und 24 abgebildet; s ist ein versilberter, um eine horizontale Axe drehbarer Spiegel, der das Licht von einer Flamme oder dem Himmel auffängt und senkrecht in die Höhe wirft, zunächst auf ein Nicol'ches Prisma p', welches in dem Loche q angebracht ist und dieses Licht polarisirt. (Statt dieses Prisma's kann auch ein Spiegel von schwarzem Glase genommen werden, so gestellt, daß die Lichtstrahlen unter einem Winkel von $35\frac{1}{2}^{\circ}$ auf ihn einfallen, wozu natürlich der Spiegel s eine etwas andere Lage als die abgebildete haben muß). Das vom Prisma durchgelassene (oder vom zweiten Spiegel reflectirte) Licht wird mittelst des Analysirers untersucht, bestehend, wie Taf. VI, Fig. 24 im vergrößerten Maßstabe zeigt, aus einem Kalkspathrhomboëder r, und einer Glaslinse b darüber; der Boden der kurzen Röhre, welche das Rhomboëder einschließt, enthält ein kleines Loch von solcher Größe, daß die beiden Bilder, welche im Allgemeinen entstehen, nicht über einander greifen. Die Linse l befindet sich in einer verschiebbaren Röhre, mittelst welcher sie in zweckmäßigen Abstand von dem Rhomboëder gebracht werden kann. n ist ein getheilter Kreis, der mittelst eines Arms von dem Ständer H getragen

wird; m ist ein Rand mit Nonius v, der durch eine Schraube gedreht werden kann, um die Winkel zwischen dem Hauptschnitt des Rhomboëders und der Polarisationsebene des Lichts zu messen. Der Arm, der den Analysirer trägt, kann mittelst einer Schraube auf- und niedergelassen und festgestellt werden.

Die Röhren t, t mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten werden gehalten von einem Rahmen, der sich um zwei Zapfen b, b dreht, um in die Bahn des Lichts gebracht und wieder fortgenommen werden zu können. Die Röhren sind von gewöhnlicher Art, unten mit rund zugeschmolzenem Boden, und zur Seite, um fremdes Licht abzuhalten, mit einer undurchsichtigen Hülle umgeben.

In eine dieser Röhren wird die zu untersuchende Flüssigkeit gegossen, z. B. Zuckerlösung, in die andere die, welche man damit vergleicht, z. B. Terpentinöl. Durch Eingießen von mehr oder weniger der Flüssigkeit kann man die Länge ihrer Säule beliebig und leicht abändern. Dies ist das Eigenthümliche und der Hauptvortheil dieses Instruments vor dem Biot'schen, das eine liegende, an den Enden mit Glasplatten verschlossene Röhre enthält, welche, um die Länge der Flüssigkeitssäule abändern zu können, mit einer ziemlich kostspieligen Einrichtung versehen ist. Das Powell'sche Instrument gewährt zwar keine deutlichen Bilder, aber es läßt Lichtflecke erkennen, an denen man die Farbe und Intensität studiren kann.

Sonst kann man auch den Nörremberger'schen Polarisationsapparat anwenden, wenn man nur dafür sorgt, daß der Zutritt des fremden Lichts abgehalten werde und zu dem Zwecke die graduirte Röhre, die somit immer die Höhe der Flüssigkeitssäule anzeigt, mit einem Cylinder von schwarzem Tuch umgiebt. Die Röhre muß so lang als möglich sein und fast bis an den Zerlegungsspiegel reichen, damit die Beobachtung genau und die Farbenerscheinung möglichst lebhaft gesehen werden. —

§. 231. Jolly's Apparat zur Beobachtung von Flüssigkeiten im polarisirten Lichte.

Interessant ist der, wegen seiner Einfachheit sehr zu empfehlende Apparat von Jolly construirt (Taf. XXXI Fig. 2). Ein Holzgestell trägt eine 20 Zoll lange, ½ Zoll dicke und 1,3 Zoll breite, in der Mitte mit einer breiten Spalte versehene Leiste. An dem einen Ende befindet sich, senkrecht auf der Leiste, ein Theilkreis, in dessen Mitte, mit einem Nonius sich drehend, ein Nicol ist. Am andern Ende der Leiste befindet sich ein zweiter Nicol, der stellbar nach oben und unten zu rücken geht. In die Mitte auf den Träger wird die mit einer Flüssigkeit gefüllte Röhre gelegt, die Fig. 3 gezeichnet ist. Vermittelst der beiden Nicols kann man nun die Natur der Flüssigkeit vollständig bestimmen und ermitteln ob sie links- oder rechtsdrehend ist, also ob man zum Maximum der durchgehenden Lichtstärke durch eine Drehung nach rechts oder nach links gelangt. — Dieser Apparat erleichtert auch die Einrichtung, daß man einen electrischen Strom um die Röhre gehen läßt und seine Einwirkung auf die Polarisation studiren kann, indem durch seinen Einfluß eine Drehung der Polarisationsebene bewirkt wird, die dann genau der Nonius am Nicol angiebt. —

§. 232. Haidinger's dichroskopische Lupe.

Um die Farben genau zu studiren, die einzelne Körper in verschiedenen Richtungen zeigen, wie z. B. der Turmalin, der in der optischen Axe anders gefärbt erscheint, als rechtwinkelig darauf, der Dichroit, der in der Axenrichtung blau, senkrecht darauf braungelb erscheint — hat Haidinger ein Instrument construirt, das den Namen einer dichroskopischen Lupe führt. Sie besteht (Taf. XXXI, Fig. 4) aus einem langen

Kalkspathrhomboeder. Auf die beiden Endflächen sind Glasprismen a und b aufgekittet, deren Flächen so gegen einander geneigt sind, daß die äußersten Flächen der Glasprismen, durch welche die Lichtstrahlen hindurchgehen, senkrecht auf den Längskanten des Kalkspaths stehen. Diese Zusammenstellung wird in einem Messinggehäuse durch Kork gehalten. Das eine Ende dieser Hülse ist durch eine Kapsel geschlossen, deren Deckel in der Mitte eine quadratische Oeffnung von der Seite 2,5 Millim. hat. Am andern Ende der Hülse ist eine oder es sind auch zwei Linsen, deren Brennweite so groß ist, daß man deutlich zwei Bilder der quadratischen Oeffnung sieht, wenn man die Linse dicht vor's Auge hält. Man dreht nun die Kapsel wie Fig. 6 zeigt, so daß das Bild des einen Quadrats die Verlängerung des andern bildet. — Diese beiden Bilder sind nun rechtwinkelig zu einander polarisirt, die Schwingungen, welche das Licht des einen fortpflanzen, finden in der Richtung der Axe der Lupe statt, die andern rechtwinkelig darauf. Schneidet man nun aus einem hellen Turmalin einen Würfel, (Fig. 5) an welchem zwei Flächen A senkrecht zu seiner Axe sind, während die Flächen B parallel sind, so erscheint der Krystall anders gefärbt, wenn man durch die Flächen A, als wenn man durch die Flächen B sieht; er ist im ersteren Falle dunkler, im letzten heller. — Analysirt man nun die Farbe von A mittelst der Lupe, so erhält man zwei gleiche Bilder (Fig. 7), untersucht man aber die Flächen B, so ändern die beiden Bilder Farbe und Lichtstärke, je nachdem die Lupe durch Drehung um ihre Axe in verschiedenen Lagen gegen B gebracht wird. Liegt die Verbindungslinie der beiden Bilder in der Diagonale der Fläche B, so erscheinen beide Bilder gleich, läuft dagegen die Verbindungslinie der beiden Bilder mit der Axe des Krystalls parallel, oder steht darauf senkrecht, so ist der größte Unterschied zwischen beiden Bildern, indem das eine in der Farbe der Basis A, das andere in einem viel hellern Farbeton erscheint (Fig. 8), so daß man im allgemeinen auch von

der Farbe der Basis und der Axenfarbe spricht.— Diese Lupe wird natürlich unter andern auch bei physiologischen Untersuchungen angewendet. — Haidinger hat außerdem auf's Neue bestätigt, daß die Schwingungsebene eines polarisirten Strahls senkrecht zur Polarisationsebene steht.

Die Farbenerscheinungen in geglühten oder gepreßten Gläsern im polarisirten Lichte sind wohl in der besondern Anordnung der Theilchen in dem durch Abkühlung bewirkten gespannten Zustande zu suchen.—

Zehntes Capitel.

Das Schleifen der Linsengläser.

---

§. 233. Das Schleifen der Linsengläser aus freier Hand.

Die Linsengläser werden in Schalen geschliffen, welche der Oberfläche gemäß, die die Linse bekommen soll, genau geformt werden; die Zubereitung der Schalen ist also das erste Geschäft zum Schleifen einer Linse.

Man reißt mit einer Zirkelspitze auf einem hinreichend starken Kupfer- oder Messingblech mit einem Halbmesser, nach welchem die zu formirende Oberfläche einer Linse gekrümmt sein soll, einen Bogen, der etwas breiter ist, als die Breite der Linse, und auf einem andern Bleche mit demselben Halbmesser einen zweiten Bogen. Beide Bogen werden nun durch Beschneiden und Feilen ausgearbeitet, so daß man zwei Bleche erhält, wovon das eine convex, das andere concav gekrümmt ist; die Ausarbeitung aber muß mit der möglichsten Sorgfalt geschehen, damit das Blech bis an den aufgerissenen Bo-

gen genau stehen bleibe und die Begrenzung ohne Buckeln und Rauheiten sei. Dieses sind die sogenannten Leeren.— Kleine Leerbogen reißt man mit einem Handzirkel, größere mit einem Stangenzirkel. Sehr große Leerbogen zu zeichnen, erfordert viele Sorgsamkeit, allein sie werden bei dem jetzigen Zustande der praktischen Optik nicht mehr gebraucht, da keine Gläser von Brennweiten, die auf 100 Fuß gehen, in Anwendung kommen.

Die convexen Gläser werden auf einer hohlen, die concaven auf einer convexen Schale geschliffen, die hohle Schale wird nach dem convexen, die convexe nach dem concaven Leerbogen ausgearbeitet.

Man nimmt nun eine kreisförmige Platte von Messing- oder Kupferblech und hämmert dasselbe so lange, bis es ungefähr die Krümmung des Leerbogens erhalten hat, welches man leicht durch Aufpassen des letztern erfährt. Nach dieser Arbeit wird an die Schale ein Stück Messing senkrecht aufgelöthet, um sie auf die Spindel der später zu beschreibenden Schleifmaschine zu schrauben, und dann dreht man nach der gegebenen Leere, indem man sie in einem Drehfutter auf die Drehbank bringt, genau aus. Mit Hülfe des Leerbogens wird nun eine Schale aus Thon oder Lehm gefördert und in dieselbe Blei gegossen, wodurch man eine bleierne Schale erhält, die in erstere ziemlich genau einpaßt. Diese bleierne Gegenschale, welche sehr dick sein muß, wird mit Pech an einen hölzernen Griff gekittet und mit dem feinsten Schmirgel in der messingenen Schale so lange geschliffen, bis diese recht glatt geworden ist, und die Krümmung des Leerbogens genau angenommen hat. Dieses Verfahren ist das am wenigsten mühsame und gewährt für Linsen, die blos zu gewöhnlichen optischen Zwecken gebraucht werden sollen, hinreichende Genauigkeit, wie die Erfahrung gelehrt hat.

Um aber eine größere Genauigkeit zu erzielen, muß man nach dem zweiten Leerbogen ebenfalls eine Schale aus Messing machen, und sie mit Schmirgel so lange in die erstere hineinschleifen, bis sich beide in allen

Punkten genau berühren. — Sollen die Gläser aus freier Hand geschliffen werden, so löthet man die Schalen an eine gleichgroße Bleiplatte, damit sie eine feste Unterlage bekommen. — Das Hämmern der Messingplatten nach dem Leerbogen wird nur bei solchen Schalen angewendet, welche eine starke Krümmung bekommen, wie z. B. bei den Schalen zu Ocularlinsen; bei Schalen von flächern Krümmungen, woraus die Objectivlinsen geschliffen werden, löthet man die Messingplatte sogleich auf den Bleicylinder und dreht sie hernach nach dem Leerbogen aus. — Ebenso werden auch zu ganz kleinen Schalen zu Gläsern von sehr starken Krümmungen in ein Stückchen Messing die Höhlungen eingedreht.

Der Durchmesser einer jeden Schleifschale ist wenigstens um ½ Zoll größer, als das darin zu schleifende Glas.

Die Gläser werden zuerst, nachdem sie mit einer Zange ungefähr rund gekneipt worden, auf einen gewöhnlichen Schleifstein gebracht und rund geschliffen; sollen sie convex werden, so schleift man auch zugleich die Kanten am Rande mit weg, damit das Glasstück nachher besser in die Form hineinpasse. Die so zugerichtete Glaslinse wird hierauf an eine hölzerne Handhabe von der Form (Taf. XI, Fig. 6) gebracht, die man in die Drehbank spannt, um den Rand des Glases vollends gehörig rund zu drehen, was mit gröberem Schmirgel und Wasser geschieht, welche Materien man durch ein Stück Messing, das in den Support eingespannt ist, mit dem Rande der Linse in Berührung bringt. Statt des hölzernen Griffs kann man besser eine messingene Platte nehmen, an deren Rückseite eine Schraube angelöthet ist. Die Messingplatte wird vorher auf der Drehbank rund gedreht und kann beiläufig auch nach dem Leerbogen der Schale ausgedreht werden, um besser auf die eine schon abgeschliffene Glasfläche zu passen. Ihr Durchmesser ist etwas geringer, als der des Glases und dieses gilt auch von der vorher beschriebenen hölzernen Handhabe.

Das Aufkitten geschieht mit gewöhnlichem weichen Pech, aber so, daß dieses nicht in einer ganzen Masse, sondern in Tropfen auf das erwärmte Glas gebracht wird, worauf man alsdann die erwärmte messingene Platte drückt. Bedient man sich der hölzernen Handhabe, so muß man wohl mehr Pech auftragen, und namentlich dasselbe zuerst auf das Holz bringen, worauf man dann die erwärmte Glasplatte drückt. Aber zum Schleifen sehr accurater Linsen ist die messingene Platte ohne Zweifel besser, da das Pech sparsamer aufgetragen und dadurch das Biegen der Linse besser vermieden werden kann.

Beim Aufkitten des Glases an die hölzerne oder messingene Handhabe ist es namentlich bei größern Linsen nothwendig, daß der Mittelpunkt des Glases mit dem der Handhabe zusammenfalle, was man durch nachfolgendes Abdrehen genau erreicht.

Nun erfolgt das Schleifen der Linsen, welches man aus freier Hand in den auf einem Tische befestigten Schleifschalen folgendermaßen anstellt. Nachdem man in die Schale gröbern Schmirgel oder auch Sand gethan und ihn mit Wasser befeuchtet hat, führt man das Glas an seinem Griffe darin herum, indem man die Bewegung etwa sechsmal im Kreis und zwei- bis dreimal über's Kreuz nach dem Durchmesser der Schale in verschiedenen Richtungen macht, und so abwechselnd fortfährt. Das Glas muß dabei so geführt werden, daß sein Mittelpunkt niemals über den Rand der Schale hinausgeht, auch darf kein merklicher Druck angewendet werden, und während des Schleifens muß man die Schale immer gehörig feucht erhalten, so daß sie niemals an einzelnen Stellen trocken werden kann. Diese Arbeit setzt man so lange fort, bis das Glas die Figur der Schale angenommen hat. Wenn das Glas an die erwähnte Messingplatte gekittet ist, so schraubt man einen hölzernen Stiel an die letztere, damit die Wärme der Hand nicht auf das Pech wirken kann.

Hat sich nun das Glas genau in die Schale eingeschliffen, so wäscht man den Schmirgel weg und bringt feinern an dessen Stelle, worauf die vorige Arbeit wiederholt wird, um durch Anwendung eines feinern Schmirgels alle Risse aus dem Glase wegzuschleifen, so daß man eine gleichförmig matte Fläche erhält. Nachdem der feinste Schmirgel angewendet worden, schleift man noch einige Zeit mit gepulvertem Bimsstein, wodurch die Rauheit des Glases verschwindet, und eine Art Politur an deren Stelle tritt. Man muß bei dieser Arbeit, wenn sie accurat werden soll, die convexe Schale in der hohlen von Zeit zu Zeit, etwa alle 5 Minuten, einige Sekunden lang schleifen, denn ohne diese Vorsicht hat oft schon während des Schleifens der Linse die gebrauchte Schale ihre Form verloren.

Den Schmirgel von verschiedener Feinheit erhält man nach Huyghens Anleitung auf folgende Weise: Man nimmt 5 oder 6 reine Gefäße, füllt eins derselben mit Wasser und thut eine bedeutende Quantität fein gemahlenen Schmirgels hinein. Man rührt die Mischung mit einem Holze gut um, und nachdem sie 5 Sekunden ruhig gestanden, schüttet man sie in das zweite Gefäß, wobei man den Bodensatz zurückläßt. Hier bleibt es 12 Sekunden lang stehen und dann wird es wieder mit Zurücklassung des Bodensatzes in ein drittes Gefäß gegossen; dann nach 12 Sekunden wieder in ein viertes u. s. w. Auf diese Weise erhält man Schmirgel von verschiedener Feinheit, wovon der gröbste im ersten, der feinste im letzten Gefäße sich befindet.

Wenn nun auf diese Weise die erste Weise vollendet ist, so wird das Glas von seinem Griffe durch Einschiebung einer Federmesserklinge abgenommen und die noch anhaftenden Pechstückchen werden mit Weingeist weggewaschen. Man befestigt nun den Griff an der schon geschliffenen Seite ebenso wie vorher, und schleift die zweite Fläche des Glases.

Man muß beim zweiten Aufkitten des Glases ganz vorzüglich Acht haben, daß die Linse centrisch an den

Griff zu liegen komme; daß heißt, daß die Mittelpunkte beider Flächen in die Axe des Griffs fallen, weil man dadurch schon eine sehr nahe centrirte Linse erhält, und sich bei dem eigentlichen Centriren sehr viel Arbeit erspart. Man spannt zu diesem Behufe die Handhabe mit der Linse, so lange der Kitt noch warm ist (der, wenn er vor Beendigung der Arbeit erkalten sollte, von Neuem erwärmt werden muß), in die Docke der Drehbank und verschiebt die Linse auf dem Kitte so lange, bis die Spitze eines in dem Supporte befestigten Grabstichels, während einer Umdrehung an der Peripherie der geschliffenen Flächen ohne alle Abweichung läuft. Wenn die zweite Fläche der Linse geschliffen worden ist, so wird ihr Rand allenthalben gleiche Dicke haben, ein Zeichen, daß die Linse centrirt ist.

§. 234. Die Anwendung von Schleifmaschinen.

Da das Schleifen der Linsen aus freier Hand eine etwas mühsame Arbeit ist, besonders bei größern Linsen, so hat man auf Maschinen gedacht, um die Arbeit zu erleichtern. Man hat behauptet, daß sich die Linsen mittelst einer Maschine genauer in die verlangte sphärische Form einschleifen lassen, als mit freier Hand, daß aber das Poliren aus freier Hand, dem mit der Maschine vorzuziehen sei, weil man auf die letztere Art die Figur des Glases immer wieder verderbe; Prechtl aber verwirft die Anwendung einer Maschine ganz und gar. Dem sei nun, wie ihm wolle, so dürfen wir doch die schon von den ältern Optikern angewendete einfache und heut zu Tage bei gewöhnlichen Zwecken noch sehr gebräuchliche Maschine nicht übergehen, durch welche die Schleifschale eine rotirende Bewegung erhält, wodurch der Arbeit mit der Hand nachgeholfen wird. Wir wollen den einfachen Mechanismus an der Vorrichtung erlautern, deren sich Leutmann zum Schleifen seiner Gläser bediente.

In Fig. 7, Taf XI ist ein Durchschnitt des ganzen Gestelles abgebildet. Das Rad A kann mittelst einer Kurbel durch die Hand bewegt werden, und über seine Peripherie ist eine Schnur geschlagen, welche die Rolle B erfaßt, und sie mit der Umdrehung des Rades zugleich in Bewegung setzt. Durch diese Rolle hindurch geht die messingene Spindel C, deren oberes Ende mit einigen Schraubengängen versehen, um die Schleifschalen mit dem an ihrer Rückseite befindlich Schraubenstücke darauf zu befestigen. Es ist eine unumgänglich nothwendige Bedingung, daß die Spindel genau senkrecht stehe. Die Schraube D dient dazu, um die Zapfenlager der Spindel zu heben oder zu senken, damit diese weder zu gedrängt laufen, noch schlottern kann, und um eben diesen Zweck bei dem Rade A zu erlangen, dient die Schraube F. Bei A ist sowohl der obere, als auch der untere Boden gabelförmig ausgeschnitten, wie Fig. 7 zeigt, und in jeder Oeffnung ist ein Riegel befindlich, welcher gedränge hin- und hergeschoben werden kann. In diesen beiden Riegeln geht die Welle des Rades A und beide sind durch das gabelförmige Stück E verbunden, welches hinten in einer Schraube S endigt, mittelst welcher beide Riegel um eine Kleinigkeit verrückt werden können, damit man die Schnur, welche über das Rad A und die Rolle B geht, gehörig straff ziehen oder auch locker machen kann.

Um die Spindel C ist ein Kasten H gesetzt, welcher da, wo die Spindel durch den Boden hindurch gehen soll, ein Loch hat. Dieser Kasten dient, den Schmirgelschlamm aufzufangen, welcher beim Schleifen umherspritzt.

Diese Maschine wird mit der einen Hand in Bewegung gesetzt, während man mit der andern das Glas an seinem Griff in der Schale hält. Zu größerer Bequemlichkeit des Arbeiters ist meistens das Rad A vertical gestellt und kann durch den Fuß wie ein Spinnrad in Bewegung gesetzt werden. Eine solche Einrichtung bedarf keiner Erläuterung weiter.

Die Rückseite der Schleifschale ist, wie schon erwähnt, mit einem messingenen Ansatze versehen, in welchem eine Schraubenmutter befindlich ist, um ihn auf die Spindel C zu schrauben, doch kann dieser Ansatz eben so gut auch eine äußere Schraube sein und die Schraubenmutter in der Spindel sich befinden. Größerer Leichtigkeit halber kann die Schale auch auf einen Absatz gekittet werden, welcher auf die Spindel aufgeschraubt werden kann. Die Schraube an der Rückseite der Schale muß genau in deren Mitte sich befinden und auf der Oberfläche senkrecht stehen, damit die Bewegung der Schale recht gleichmäßig im Kreise erfolgen.

Um nun vermittelst der Maschine ein Glas zu liefern, bereitet man dasselbe so vor, wie schon gelehrt worden, thut groben Schmirgel in die Schleifschale, den man aus einem im Schlammkasten stehenden Wassergefäß immer feucht erhält, und hält das Glas an seinem Griff in die Schale hinein, während man die letztere in die drehende Bewegung versetzt. Zuerst setzt man das Glas in die Mitte der Schale, führt es von da, indem man das mit der rechten Hand zuerst langsam, hernach geschwinder umdreht, mit gelindem Druck auf die Schüssel in einer geraden Linie hinauf bis etwas über den Rand und dann wieder sehr langsam nach der Mitte zurück, bis das Glas einigermaßen eine Rundung bekommen hat, und sich schon genauer in die Schüssel fügt. Dieses Verfahren wird so lange wiederholt, bis das Glas in die Schale sich vollkommen eingeschliffen hat.

Durch die Bewegung des Glases verhindert man, daß sich grobe Furchen in dasselbe einschleifen, die hernach schwer wieder wegzubringen sind; desgleichen wird auch die sphärische Form der Schüssel möglichst nahe bewahrt. Während des Auf- und Abführens des Glases muß dasselbe allmälig mit den Fingern um sein eigenes Centrum gedreht werden, damit es vollkommen sphärisch und nicht schief geschliffen werde, man muß auch das Glas an allen Punkten gleich fest aufdrücken, doch nicht zu stark, daß es nicht Furchen be-

komme und die Mühle stehen bleibe, auch muß man dann sehen, daß der Sand oder Schmirgel allenthalben gleich scharf greife. Man muß auch das Glas nicht allzuweit über den Rand der Schale hinausführen, aber auch nicht zu nahe nach der Mitte halten; denn im ersten Falle würde blos die Mitte, im andern der Rand bei der Politur vollkommen ausfallen.

Da man mittelst dieser Maschine meist nur Gläser zum gemeinen Gebrauch, als Brillengläser, Objective zu einfachen Fernröhren oder zur Camera obscura schleift, und als Material Glas von zerbrochenen Spiegeln benutzt, dessen beide Oberflächen sehr nahe parallel sind, so hat man ein leichtes Mittel, das Glas beim Schleifen so zu halten, daß es nahe centrisch wird. Man sieht nämlich leicht ein, daß die Mitte des Glases am spätesten angegriffen wird, und daß aus dieser Ursache hier ein helles Pünktchen zuletzt noch übrig bleiben muß. Dieses Pünktchen sucht man genau in die Mitte des Glases zu bringen, zu welchem Ende man dasselbe von Zeit zu Zeit abwischt und zusieht, ob es in die Mitte kommen werde; sollte dieses nicht der Fall sein, so muß man beim Schleifen dann das Glas darnach halten. Ist die erste Flache einmal geschliffen, so hat man für die zweite Fläche dasselbe Merkmal, auch kann der Rand des Glases dienen, um es in Bezug auf seine richtige Centrirung zu prüfen, denn dieser muß ringsum gleiche Stärke besitzen, und also, da es beim rohen Glasstücke diese Eigenschaft schon hatte, dieselbe während des Schleifens immer fort behalten.

Bei Hohlgläsern fällt dieses Merkmal weg, es bleibt aber statt des hellen Pünktchens in der Mitte ein helles Rändchen und dieses sucht man allenthalben gleich breit zu erhalten. Wird die Vertiefung bis an den Rand der Linse eingeschliffen, so muß derselbe allenthalben gleich stark stehen bleiben.

Kleine Convexgläser und Planconvexgläser werden so geschliffen, daß ihre beiden Oberflächen sich schneiden, und dann sind sie vollkommen centrirt.

Wenn das Glas durch Abschleifen mit gröberem Schmirgel die Form der Schale vollkommen angenommen hat, so schleift man es auf eben diese Weise mit immer feinerm Schmirgel, bis es ganz glatt geschliffen und zum Poliren vorbereitet ist.

§. 235. Vom Poliren der Gläser aus freier Hand.

Man schmilzt eine Mischung aus gleichen Theilen Pech und Colophonium und drückt dieselbe, wenn sie noch heiß ist, durch eine feine Leinwand, um alle Unreinigkeiten herauszubringen, worauf man die Mischung so lange stehen läßt, bis sie eine dickliche Consistenz angenommen hat. Man nimmt hierauf die Schleifschale, in welcher das nun zu polirende Glas geschliffen worden ist, erwärmt dieselbe etwas, damit das Pech daran hafte, und schüttet nun von dem geschmolzenen Pech auf dieselbe soviel, als nöthig ist, um dieselbe in ihrer ganzen Fläche etwa 1 Zoll hoch damit zu bedecken. Man drückt dann in diese mit dem schon zähe werdenden Peche versehene Schale die Gegenschale auf, deren Fläche ganz trocken, rein und kalt sein muß, um dem Peche die Form dieser Schale zu geben; man taucht dann die Polirschale in kaltes Wasser, bis das Metall gänzlich abgekühlt ist. Man kann auch die schon geschliffene Glasfläche dem Peche aufdrücken, nur muß sie an ihren Griff gekittet sein, damit sie sich nicht biegen kann.

Auf dieser Pechschale wird nun das mit dem Griffe genau centrisch versehene Glas mit Kolkothar und Wasser polirt, bis seine beiden Flächen die vollkommene Politur erhalten haben. Das Poliren geschieht ebenso wie das Schleifen mit kreuzförmigen Riemen und Kreuzzügen, wobei man übrigens behutsam verfahren muß, damit der Pechkuchen sich nicht erhitze und seine Form ändern, und die Vorsicht anwendet, die Gegenschale in dem Pechkuchen mit feinem Schmirgel zu schleifen, besonders wenn

man vermuthet, daß die Pechschale ihre Form geändert haben mag. Bevor man aber wieder zu poliren anfängt, muß man den Schmirgel mit Wasser vollkommen wegspülen.

Damit bei dieser Arbeit sich an der Pechfläche nicht an einzelnen Stellen das Polirmittel oder abgerissene Pechtheile anlegen, wodurch die Figur der Pechschale und des Glases verändert werden würde, so werden vor dem Gebrauch in dieselbe, nachdem das Pech ganz erkaltet ist, Kreuzlinien in der Entfernung von ½ bis 1 Zoll von einander und etwa eine Linie breit eingeschnitten. Man zieht nämlich eine solche Furche durch den Mittelpunkt in der Lage des Durchmessers, eine zweite senkrecht auf die vorige durch den Mittelpunkt, und die übrigen Furchen parallel diesen beiden. Diese Furchen nehmen alle überflüssigen Theile auf, so daß die Polirfläche rein und in ihrer Form erhalten wird. — Man muß auch Acht haben, daß während des Schleifens und Polirens kein bedeutender Temperaturwechsel eintrete, damit nicht die Schleifschale durch ungleiche Ausdehnung ihre Form ändern.

Der Kolkothar ist rothes Eisenoxyd, welches entsteht, wenn man vorher calcinirten oder von seinem Wasser befreiten Eisenvitriol in einem hessischen Schmelztiegel ausglüht, wodurch die Schwefelsäure davon geht, und dieses Oxyd als ein feines rothes Pulver zurückbleibt. Bei der Bereitung der Schwefelsäure (des Vitriolöls) aus Eisenvitriol bleibt dasselbe als Rückstand in der Retorte.

Der käufliche Kolkothar (Eisenroth) enthält gewöhnlich noch Schwefelsäure, welche vor seiner Anwendung zum Schleifen optischer Gläser dadurch entfernt werden muß, daß man ihn mit etwas reinem heißen Wasser übergießt, umrührt und, nachdem er sich wieder gesetzt hat, das Wasser wieder davon abgießt. Ist der Kolkothar nicht vollkommen fein, oder etwa mit fremden Theilen verunreinigt, so muß er vorher auf eben diese Weise geschlemmt werden.

§. 236. Vom Poliren mittelst der beschriebenen Maschine.

Hier wird ebenfalls nicht in der unmittelbaren Schleifschale die Politur vorgenommen, sondern dieselbe wird erst mit weichem, nicht zu dünnem und nicht zu stark geleimtem Papier ausgefüttert, welches man mit Stärkekleister oder aufgelöstem Gummiarabicum auf die Fläche der Schale so aufklebt, daß keine Falten übrig bleiben, zu welchem Behufe man das Papier zuvor in die Schale hineinpassen, und die Falten gebenden Theile desselben mit einer Scheere accurat wegschneiden muß. Wenn der Leim trocken geworden, so radirt man mit einem scharfen Messer alle noch übrigen Ungleichheiten des Papiers, Knoten, Sandkörnchen u. s. w. hinweg, damit nichts übrig bleibe, was dem Glase schädlich werden könne. Statt des Papiers kann man auch die Schale mit einem Stück Taffet, feinem Tuch, Handschuhleder und dergleichen auskleben.

Alsdann schraubt man die Schale auf die Spindel, reibt mit dem Finger etwas Kolkothar oder auch feinen Tripel auf dem Ueberzuge herum, daß er ganz bedeckt wird und der Kolkothar fest anhänge, entfernt alles Grobe und Harte, was man noch verspürt, und fängt an zu poliren, auf dieselbe Weise, wie das Glas geschliffen worden. Bei dieser Arbeit muß man das Glas allenthalben gleich fest andrücken, jedoch nicht zu fest, auch darf man das Rad nicht allzu schnell herumdrehen, damit das Glas sich nicht erhitze, und wenn dieses der Fall sein sollte, so muß man etwas inne halten, bis das Glas wieder abgekühlt ist. So oft sich etwas von dem Polirmittel an das Glas anhängt, muß man dasselbe nicht abwischen, sondern durch die Umdrehung der Schale selbst abreiben.

So oft der Kolkothar sich eingerieben hat, trägt man neuen auf, rührt auch den alten mitunter mit dem Finger wieder auf, und wenn das Papier so geglättet

ist, daß es nicht mehr angreifen oder kein frisches Polirmittel mehr annehmen will, so überfährt man es einmal mit einem feuchten Schwamm und läßt es wieder trocknen. Wenn das Glas schon gut ist, so polirt man es zuletzt noch ohne Auftragung neuen Polirmittels eine Zeit lang.

Ob das Glas gut polirt sei, erfährt man, wenn man es gegen das Licht hält und durch eine scharfe Lupe betrachtet, denn dadurch entdeckt man leicht die kleinen Risse oder Grübchen, die etwa noch stehen geblieben sind.

Ganz kleine Convexlinsen mit kurzen Brennweiten kann man auch ohne Schale poliren, indem man ein Stück weiches Handschuhleder mit dem einen Ende annagelt, mit dem andern in der Hand hält, das Polirmittel etwas dick aufträgt, und hernach das Glas darauf herum reibt, bald drehend, bald geradlinig auf- und abführend.

Das Schleifen einer vollkommen ebenen Fläche wird für ganz besonders schwer gehalten. Man verfährt dabei ebenso, wie sonst, nur muß die Ebenheit der Schleifschale recht genau erreicht worden sein.

Bei dem Schleifen der Planflächen von Ocularlinsen kann man sich, nachdem die convexen Flächen schon geschliffen sind, eine große Erleichterung dadurch verschaffen, daß man viele Flächen auf einmal schleift. Zu diesem Ende werden die Linsen in Pech, dem Gyps zugesetzt worden ist, auf einer festen Unterlage eingekittet, und dann mittelst eines unten mit einer matten Spiegelplatte versehenen Trogs auf dieselbe Weise geschliffen und polirt, wie die gläsernen Planspiegel. Die Lage der Linsen wird dabei so eingerichtet, daß durch das Abschleifen die krumme Fläche und die Planfläche einander schneiden.

§. 237. Ueber andere Methoden des Glasschleifens.

Man hat noch mancherlei Vorrichtungen erdacht, um Gläser auf eine leichte und sichere Weise in die sphärische Form zu bringen, und vielleicht hat es manche bewährte gegeben, die aber nicht bekannt geworden ist, wie das z. B. von der Fraunhofer'schen Art zu schleifen mit Gewißheit galt. Prechtl sagt, daß die Genauigkeit der Fraunhofer'schen Gläser durch Poliren aus dem Radius erreicht worden sei, und führt in seiner Dioptrik eine eigens erfundene Vorrichtung an, die zwar keine Erleichterung des Schleifens, aber doch eine große Genauigkeit der Kugelform gewährt. Die Methode, aus dem Radius zu schleifen, besteht im Wesentlichen darin, daß das Glas mit seinem Griff an eine unbiegsame Stange gebracht wird, die mit dem andern Ende so befestigt ist, daß sie sich um diesen Punkt nach allen Richtungen drehen läßt. Die Länge dieser Stange ist genau dem Halbmesser gleich, nach welchem die zu schleifende Glasfläche gekrümmt sein soll, und nun wird das Glas gerade so wie beim Schleifen aus freier Hand in der untergelegten Schale herumgeführt. Es ist leicht begreiflich, daß dadurch die sphärische Form der Glasfläche sehr genau erhalten werden muß, weil die Bewegung genau in der Kugelfläche erfolgt, die das Glas haben soll. Die Vorrichtung Prechtl's, die Radiusstange aufzuhängen, ist sehr sinnreich, allein die Grenzen dieses Werks gestatten nicht, eine solche nur für Optiker vom höchsten Rang anwendbare Maschinerie zu beschreiben. Ein Dilletant wird immer die vorige weniger umständliche Art zu schleifen wählen und ein angehender Optiker desgleichen, um sich dadurch für vollkommenere Arbeiten geschickt zu machen.

Man hat auch Maschinen erfunden, durch welche Gläser ohne anderes Hinzuthun der Hand geschliffen

werden können, als daß man die Maschine in Bewegung setzt, allein es hat sich noch keine solche Vorrichtung dergestalt bewährt, daß sie in allgemeinen Gebrauch gekommen wäre. Tournant's Maschine ist wie eine Drehbank gebaut, das Schwungrad führt aber mittelst einer Schnur ohne Ende zugleich eine Rolle mit herum, in deren Axe das Glas festgemacht ist. Die Kette, durch die das Schwungrad umgetrieben wird, ist an einer an dessen Axe befindlichen Kurbel befestigt, so daß die Bewegung des Schwungrads ebenso erfolgt, wie bei einem Spinnrade. In diese Kette ist die eiserne Schleifschale gleichsam als ein Glied, an zwei Henkeln sorgsam mit eingehängt, und wird durch eine besondere Vorrichtung gegen das zu schleifende Glas gedrückt. Wenn man also die Maschine in Bewegung setzt, so geht die Schale am Glas auf und ab, während dieses sich rasch um seine Axe dreht, und so begreift man, wie ein Glas geschliffen werden kann, dessen Krümmung nach Brewster's Urtheil sehr genau ausfallen soll.

Eine ähnliche Maschine vom Mechanikus Stewart aus Bordeaux besteht in einer Art verticalen Drehbank, welche die Schüssel umlaufen macht, während das Glas an einer Metallstange befestigt ist, deren Länge genau dem Halbmesser der zu schleifenden Krümmung gleich ist. Diese Stange ist nach Art eines Schiffskompasses in einem Doppelringe aufgehängt, dessen Mittelpunkt genau den Mittelpunkt der zu bearbeitenden Kugelfläche abgiebt. Die Maschine bewegt das Glas nicht, sondern dies geschieht, wie bei der gewöhnlichen Methode, mit der Hand, nur mit mehr Bequemlichkeit.

Am wünschenswerthesten würde eine solche Vorrichtung sein, wie sie Legy im Modell ausgeführt hat. Das Glas ist ebenfalls an einer Radiusstange aufgehängt, deren Länge dem Krümmungshalbmesser der auszuarbeitenden Fläche gleichkommt. Diese Radiusstange, welche durch die Maschine selbst in eine hin- und hergehende Bewegung gesetzt wird, ruht mit dem um seine Axe rotirenden Glase auf der ebenen Schleifschale, die

ebenfalls in eine rotirende und hin- und hergehende Bewegung versetzt wird. Dadurch wird nach und nach jeder Theil des Glases mit jedem Theile der ebenen Schleifschale in Berührung gebracht, wodurch ersteres nothwendig eine sphärische Gestalt erhalten muß, die von der Länge des Radius abhängt. So wäre man denn der Mühe, für jedes Glas eine oder gar zwei Schleifschalen auszuarbeiten, gänzlich überhoben. Convexe Gläser werden auf einer bauchigten Reibschale geschliffen.

§. 238. Verfertigung von ebenen Glasspiegeln.

Die Spiegelgläser, welche zu ebenen Spiegeln benutzt werden sollen, müssen möglichst rein, ohne Bläschen, Adern und Streifen sein; Eigenschaften, welche nicht leicht zu erhalten sind, besonders wenn große Tafeln verlangt werden. Die Art und Weise, wie die Spiegelgläser in den Fabriken gegossen werden, gehört nicht hierher; man kann hinlänglichen Unterricht darüber in Leng's Handbuche der Glasfabrication, Weimar bei Voigt 1835 finden.

Die Gläser müssen, ehe sie belegt werden, vollkommen gut geschliffen und polirt werden. Hierbei tritt eben die Schwierigkeit ein, welche die Ausarbeitung eines vollkommenen Planglases zu einer so mißlichen Sache machen, die Schwierigkeit nämlich, einen vollkommenen Parallelismus der beiden Glasflächen zu erzielen; denn wenn diese Flächen schief gegen einander liegen, so wirkt das Glas wie ein Prisma, und unter andern Fehlern wird besonders der der doppelten Bilder merklich.

Sehr kleine Spiegelgläser lassen sich auf dieselbe Art auf einer Planschale schleifen und poliren, wie die ebenen Flächen der Linsengläser. Gläser von größern Dimensionen aber kittet man mit Gyps auf eine Tafel

und reibt auf ihnen eine andere Glastafel, die an ein Holz von der Form eines Parallelepipedums gekittet ist, zuerst mit feinem Sande, hernach mit Schmirgel so lange, bis die beiden Glastafeln sich vollkommen eben geschliffen haben und keine Risse mehr darin vorhanden sind. Man kann dieses Abreiben auch mittelst einer eisernen Planschale vollbringen. Das Poliren geschieht mittelst eines aus trockenem harten Holze gut gehobelten Parallelepipedums, dessen eine Seite mit Leder überzogen wird, auf welchem man feinen Kolkothar aufreibt.

Hat das Glas seine vollkommene Politur erlangt, so ist es zum Belegen geeignet. Man breitet zu dem Ende auf einer marmornen Tafel, welche mit einem Rahmen eingefaßt ist, ein Zinnblatt, das etwas größer ist, als der zu belegende Spiegel, recht sorgfältig und glatt aus, damit keine Runzeln darin bleiben, gießt etwas Quecksilber darauf und reibt dasselbe mit Wolle oder Baumwolle aus, damit das Zinn allenthalben durchfressen werde oder sich verquicke. Hernach schüttet man noch so viel Quecksilber auf das Zinnblatt, daß dieses allenthalben damit bedeckt wird, und legt sodann das Glas darauf, wobei man es in schräger Lage von dem untern nach dem obern Rande hinführt, um das Oxydhäutchen auf die Seite zu schieben, welches sich auf der Oberfläche des Quecksilbers, nachdem man es abgenommen hat, alsbald wieder bildet, und verursacht, daß die Spiegelbelegung matt und fehlerhaft wird. Man muß bei dieser Operation große Vorsicht anwenden, damit man nicht die Folie durch den Rand des Glases beim Darüberhinschieben zerreiße, und überhaupt gehört Uebung, Behendigkeit und Erfahrung zu diesem Werke, welche man sich indeß nach einigen Versuchen bald angeeignet haben wird. Die Spiegelplatte muß schnell auf die Folie niedergelegt werden, sobald das Oxydhäutchen auf die Seite gehoben ist. Man beschwert nun die Glasplatte, auf welche man eine Filzdecke gelegt hat, mit Gewichten und neigt die Tafel, auf welcher sie liegt, binnen 24 Stunden immer mehr und mehr, damit das

überflüssige Quecksilber ablaufe. Alsdann hat sich das Zinnblatt allenthalben fest angelegt, und man kann nun den Spiegel von der Tafel abnehmen und ihn mehrere Wochen lang an einen geeigneten Ort lehnen, um alles übrige Quecksilber vollends ablaufen und das Amalgama völlig hart werden zu lassen. Hierbei muß man alle Erschütterung vermeiden, weil das Amalgam anfangs sehr weich ist und sich leicht ablöst.

Bei kleinern Spiegeln kann man, um weniger Aufwand zu machen, die Folie auf ein ebenes Brett ausbreiten und mit einem Wachsrande umgeben, um das Weglaufen des Quecksilbers zu verhindern, im Uebrigen aber wie vorher verfahren.

Ehe das Glas auf die Folie aufgelegt wird, muß man es vorher mit einer Potaschenauflösung oder Lauge und mit einem leinenen Lappen wohl reinigen, und wenn sie trocken geworden ist, nochmals abwischen, damit kein Schmutz und keine Feuchtigkeit darauf haften, weil sich sonst das Amalgama nicht fest anhängen würde.

Da das Belegen der Spiegel, besonders großer, viel Fertigkeit erfordert und dennoch selten ein Spiegel ganz rein ausfällt, so hat man vielfach auf andere Methoden gedacht. Unter anderm bemerken wir nur, daß Professor Lancellotti in Neapel hierzu ein Amalgam aus 3 Theilen Blei und 2 Theilen Quecksilber vorschlägt, welches, sobald es hart geworden ist, sehr fest anhaften und die Lichtstrahlen sehr gut reflectiren soll. Man schmelzt erst das Blei, gießt dann das Quecksilber hinein und rührt die Masse mit einem eisernen Draht oder Spatel um. Diese Mischung wird, so lange sie noch flüssig ist, auf die erwärmte Glastafel gegossen; man muß aber vorher das Oxydhäutchen sorgfältig abnehmen, damit der Spiegel keine Flecken bekommt.

§. 239. Vom Centriren der Gläser.

Wir haben schon früher auf die Wichtigkeit der Eigenschaft aller Linsen aufmerksam gemacht, daß sie richtig

centrirt sind, d. h., daß der Rand genau kreisrund abgeschliffen ist, und die höchsten Punkte beider Kugeloberflächen, oder bei hohlen Flächen die tiefsten Punkte vom Rande gleichweit abstehen. Unter dieser Bedingung ist jede Linse centrisch oder centrirt, wenn die beiden Oberflächen sich schneiden, oder daß ihr Rand ganz scharf wird, denn dadurch ist man der Mühe überhoben, sie weiter zu centriren.

Solche Linsen aber, welche sehr schwach gekrümmt sind, müssen immer eine gewisse Dicke am Rande behalten, und sie werden dann richtig centrirt sein, wenn der Rand allenthalben gleich stark ist, was man beim Schleifen immer sehr nahe zu Wege bringen kann, so daß eine Linse, wenn sie geschliffen ist, auch nahe centrirt ist.

Um annäherungsweise zu probiren, ob eine Linse centrirt sei, kann man auf folgende Weise verfahren. Man bedeckt die eine Fläche der Linse mit Papier, auf welchem aus demselben Mittelpunkte zwei Kreise gezogen sind. Der Durchmesser des einen ist gleich dem Durchmesser der Linse, und der des zweiten halb so groß. Den innern Kreis theilt man in 6 Theile und sticht mit der Nadel 6 Oeffnungen hinein. Wenn man nun das bedeckte Glas der Sonne gegenüber hält und hinter ihm ein Papier aufstellt, so werden sich auf diesem, im Schatten der Linse, sechs lichte Punkte darstellen, und wenn diese Punkte alle in gleicher Entfernung zusammenlaufen, und sich in einem einzigen Punkt vereinigen, so ist die Linse centrirt. Es versteht sich, daß diese Methode nur bei Sammelgläsern anwendbar ist.

Nachstehende Methode ist leichter. Wenn man die Linse einem beleuchteten Gegenstande gegenüber hält, so sieht das Auge wegen der Spiegelung an beiden Oberflächen zwei Bilder. Man halte nun die Linse gegen ein Kerzenlicht, und entferne sich von diesem so lange, bis die beiden reflectirten Bilder des Lichtes klein werden und dem Auge mehr wie leuchtende Punkte erscheinen. Man wende nun das Glas, bis man die beiden

Lichter genau an einer und derselben Stelle erblickt, so daß sie einander decken, oder das kleinere Bild genau in der Mitte des größern steht. Dieser Punkt, den man mittelst einer Feder mit Tusche bezeichnet, ist der Mittelpunkt der Linse. Man kann nun untersuchen, ob dieser Punkt der Mittelpunkt der Peripherie der Linse ist, wie es sein soll. Ist dieses nicht der Fall, so wird die Centrirung der Linse nun dadurch hergestellt, daß man den Rand so abschleift, daß jener gefundene Mittelpunkt der Mittelpunkt der Peripherie wird.

Genauer wird das Centriren auf der Drehbank mittelst der reflectirten Bilder bewirkt, indem man die Linse mit Kitt auf der Docke befestigt und nach dem Augenmaße möglichst genau so richtet, daß sie centrisch läuft. Wenn man nun in einiger Entfernung von der Linse ein Kerzenlicht aufstellt und die Docke schnell umlaufen läßt, so werden die beiden reflectirten Bilder ruhig stehen, wenn die Mittelpunkte beider Flächen in den Mittelpunkt der Umdrehung fallen, oder die Axe der Linse in die Axe der Umdrehung zu liegen kommt; wenn man nun den Rand der Linse in unverrückter Lage derselben rund abdreht, so wird alsdann auch die Linse centrirt sein. Man kann auch die Peripherie mit einem durch einen Diamant eingeschnittenen Kreise bezeichnen, und nach demselben den Rand der Linse in einer Schale von geringerem Krümmungshalbmesser abschleifen, was jedoch nur für kleinere Linsen angeht.

Wenn aber die Linse beim Umdrehen der Docke nicht centrisch läuft, so werden das eine oder das andere Bild, oder beide zugleich, sich im Kreise zu bewegen scheinen, und dann muß man die Linse so rücken, bis der vollkommene Stillstand beider Bilder eingetreten ist.

Man hält indessen diese Methode für Linsen zu größern achromatischen Objectiven nicht genau genug, weil sich der letzte Grad der Beweglichkeit der Bilder nicht mehr beobachten läßt. P r e c h t l meint, daß Fraunhofer die vollkommene Centrirung seiner Linsen durch

einen doppelten Fühlheber erreicht habe, welcher aus zwei um denselben Mittelpunkt beweglichen einfachen Hebeln besteht, und beinahe die Form einer Kneipzange hat, indem die beiden kurzen Arme gegen einander gebogen sind, die beiden längern aber gerade ausgehen, und von einer zwischen ihnen befindlichen Feder fortwährend mit nicht gar zu starkem Druck aus einander gehalten werden. Wird nun der Rand der auf die Drehbank gebrachten Linse zwischen die vordern Arme gebracht, so werden die hintern einen gewissen Abstand von einander haben, und wenn bei der Umdrehung der Linse dieser Abstand unverändert bleibt, so läuft die Linse genau centrisch und kann nun rund gedreht werden. — Der längere Hebelarm kann etwa 50mal länger sein, als der kürzere, damit das Instrument recht empfindlich sei. — Diesen einfachen Gedanken hat Prechtl in seiner Dioptrik sehr schön bearbeitet; er setzt die Hebel nicht so zusammen, daß sie eine Zange bilden, weil man dann wegen der nothwendigen Kürze der kürzeren Arme nur Gläser von geringer Dicke zwischen dieselbe würde fassen können, sondern er bringt jenen Hebel auf einen besondern Schenkel und befestigt diese auf einer messingenen Platte so, daß man sie mehr nähern oder von einander entfernen kann. Dieses geschieht durch zwei Schrauben, wovon die eine, wie gewöhnlich, durch den Schenkel und die Platte hindurch geht, die andere aber in einem Schlitze der Platte beweglich ist. Die beiden Hintertheile der Schenkel werden durch eine Feder auseinander getrieben, während die beiden vordern durch eine Stellschraube genähert oder entfernt werden können. Zwei Federn drücken gegen den langen Arm der beiden Fühlhebel, damit das Ende des kürzern, welcher aus einem vorn abgerundeten Stahlstücke besteht, gegen die beiden Flächen der mit der Spindel der Drehbank umlaufenden Glaslinse gedrückt wird. Am hintern Ende der genannten Schenkel sind Abtheilungen, um den gleichen oder veränderten Stand der langen Hebelarme zu bemerken. Das ganze Instrument kann eine in der

Mitte der Messingplatte befindliche Schraube mit einem Griff auf einen in die Auflage der Drehbank gesetzten Träger geschraubt werden.

§. 240. Polirmaschine von E. Newton in London.

In der neuesten Zeit ist von W. E. Newton in London eine Maschine zum Poliren von Glastafeln beschrieben worden. Bei diesem Mechanismus ertheilt die Reibung einer flachen rotirenden Polirscheibe dem zu behandelnden Material eine unabhängige rotirende Bewegung um seine eigene Achse, und dadurch wird eine gleichmäßige Vertheilung der schleifenden oder polirenden Wirkung über die ganze Oberfläche des mit der rotirenden Scheibe in Berührung befindlichen Materials erzielt. — Man hat nämlich eine kreisrunde horizontale Polirscheibe, deren verticale Welle in einer Pfanne läuft und in einem Quergestell gelagert ist. Das obere Ende der Welle ragt nicht über die Scheibe hervor, daher der zu polirende Artikel über ihr Centrum hinweg bewegt werden kann. Das Gestell zum Festhalten der Scheibe oder der Glastafel besteht aus einer metallenen oder hölzernen Platte, die an ihrer untern Seite ringsherum mit einer Leiste versehen ist, in welche die Glastafel eingegypst wird. Diese Platte wird in einer in der untern Seite des Gestelles befindlichen Vertiefung befestigt. Außerdem ist noch ein oberes Gestell über der Polirscheibe, das mit einem Schlitz versehen ist, so daß die aus der Mitte des untern Gestelles hervorragende senkrechte Spindel, die an das obere Gestell durch eine Mutter befestigt ist, losgelöst und in dem Schlitz in jede erforderliche Lage gebracht werden kann. —

Die Operation des Schleifens und Polirens wird nun mit Hülfe von Sand oder einem andern geeigneten Polirmittel bewerkstelligt. Die zu behandelnde Glastafel wird zuerst in dem untern Gestelle befestigt und

dieses dann in der geeigneten Lage in dem geschlitzten obern Gestelle justirt. Je größer der Abstand der Spindel von dem Centrum der Polirscheibe ist, desto kräftiger ist, wegen der nach der Peripherie hin zunehmenden Geschwindigkeit der Oberfläche, die polirende Wirkung. Die Scheibe erhält mittelst Winkelräder ihre rotirende Bewegung. — Nachdem die polirende Substanz über die Scheibe gehörig vertheilt ist, läßt man mittelst einer Rinne Wasser über die Mitte der Scheibe träufeln.

Wird nun die Polirscheibe in Rotation gesetzt, so beginnt auch sofort die im untern Gestelle befestigte Glastafel von selbst in der nämlichen Richtung wie die Polirscheibe zu rotiren, weil die Reibung an der vom Mittelpunkte der Bewegung entfernteren Stelle der Glastafel größer ist, als an dem demselben näher liegenden. Sobald von Neuem polirendes Material zugesetzt wird, vertheilt sich dieses nach wenigen Umdrehungen gleichmäßig.

§. 241.

Auch Nicholson und Wadsworth haben eine neue Polirmaschine beschrieben, — die zu complicirt ist, als daß man sie hier ganz genau beschreiben könnte. Ausführlicher ist sie in Dingler's polytechnischen Journal Band 103 beschrieben. Im Allgemeinen sehen wir in dieser Maschine Reiber aus Gußeisen, die an ihrer obern Seite hohl sind, an der untern jedoch mit einer genau geschliffenen ebenen Fläche versehen, über welche ein Filz gespannt und an jedem Ende festgeschraubt ist. Diese Reiber werden durch Hebel in Bewegung gesetzt, die ihrerseits vermittelst Triebräder jenen eine oscillirende Bewegung mittheilen. Am Hebel sind an beiden Seiten starke Metallfedern, die bei dem Hin- und Hergange der Stange abwechselnd zusammengedrückt werden, dadurch das Trägheitsmoment der Hebelstange mäßigen und dem Stoß beim jedesmaligen oscillatorischen Wechsel der Be-

wegung mildern, und somit einem Uebelstande vorbeugen, der bei den gewöhnlichen Polirmaschinen so oft nachtheilig hervortritt. — Außer den flachen Reibern haben Nicholson und Wadsworth mit großem Vortheile cylindrische, an parallelen Achsen befestigte Flächen angewendet, welche vermittelst mehrerer durch eine hohle Welle umgetriebenen Winkelräder in Rotation gesetzt werden. Durch die Mitte der hohlen Welle geht eine mit einer Leiste oder Rippe versehene Achse, welche, während sie rotirt, die Welle mitnimmt, derselben jedoch gestattet, mit dem Schlitten, worauf die cylindrischen Reiber gelagert sind, hin und her zu gleiten. Die Rotation der Welle wird durch Vermittelung von Stirnrädern und Getrieben durch eine zweite Welle, die durch irgend eine Kraft bewegt wird, hergeleitet. Durch diese Anordnung können mehrere Polirmaschinen von einem Triebwerke aus in Thätigkeit gesetzt werden. — Was nun noch das Polirpulver betrifft, so schlagen beide Techniker vor, das zur Politur dienende Schwefeleisen zu calciniren. Sie wünschen, daß das Schwefeleisen, nachdem man es zuvor durch ein grobes Sieb hat gehen lassen, in eine cylindrische Retorte zu bringen und diese in einem Ofen, ähnlich den für Glasretorten dienlichen Oefen, rotiren zu lassen. Die Rotation wird durch eine Axe bewirkt, welche durch die Retorte geht. Gleichzeitig leitet eine Röhre das freiwerdende Schwefelgas in eine Kammer oder einen Rauchfang. —

§. 242. Ueber Metallspiegel.

Was die Zusammensetzung und die Politur der Metallspiegel betrifft, so werden wir nur Weniges darüber zu sagen haben, denn sie werden wohl bald ganz, seit der Anfertigung von Glasspiegeln und deren Versilberung durch Steinheil, ihren Werth verlieren. Prechtl schlug vor, eine Legierung von 32 Loth Kupfer und 14⅝ Loth Zinn zu machen, da diese dann weiß, sehr

hart und einer vollkommenen Politur fähig wäre. Einen Zusatz von Arsenik verwirft er, da dieses, wenn nicht vollkommen gleichgültig, eher nachtheilig wirkt. Der zwanzigfüßige Reflector von W. Herschel hatte nur 7,75 Theile Zinn auf 20 Theile Kupfer, und Andere wandten Legierungen aus 11 Theilen Kupfer und 4 Theilen Zink an. Die Legierung wird nun in eine zweckmäßige Form gegossen und dafür gesorgt, daß sie schnell erkaltet, damit bei schneller Erstarrung der Krystallisation, die schädlich einwirkt, keine Zeit gelassen werde. Am leichtesten wird die schnelle Abkühlung erreicht, wenn man die Scheibe so dünn als möglich macht, denn dann reicht die atmosphärische Luft hin, die Scheibe, nachdem sie aus der Form herausgebracht, gehörig schnell abzukühlen. Ueberhaupt ist es nicht zu rathen die Scheibe des Spiegels zu dick zu machen, da außer einer langsamen Erkaltung, welche die Krystallisationserscheinungen hervorruft, noch andere Uebelstände auftreten. Eine practische Regel läßt deshalb folgendermaßen die Dicke finden:

Man ziehe aus dem Durchmesser der Scheibe die Quadratwurzel und dividire diese durch 4, so hat man die zugehörige Dicke.

Also hat ein Spiegel

von	4	Zoll	eine	Dicke	von	0,5	Zoll
"	6	"	"	"	"	0,61	"
"	12	"	"	"	"	0,866	"
"	18	"	"	"	"	1,06	"
"	24	"	"	"	"	1,25	" u. s. w.

§. 243. Die parabolischen Spiegel.

Was nun die Herstellung parabolischer Spiegel und deren Politur betrifft, so hat man wohl zunächst einen Spiegel genau kugelförmig auszuarbeiten, und zwar so weit, daß er zum Poliren geschickt ist, dann erst kann man an die sphärische Bildung gehen.—

Das sphärische Ausschleifen, wobei der Krümmungshalbmesser doppelt so groß sein muß, als die beabsichtigte Brennweite geschieht auf einer guten Drehbank, in welcher man den Spiegel in ein Futter spannt und nach einem vorher genau nach dem zu gebenden Halbmesser ausgeschnittenen Leerbogen mit dem Support so genau als möglich ausdreht. Dann wird der so bearbeitete Spiegel mit Schmirgel polirt. Um ihn feiner zu schleifen, kittet man mittelst Pech auf eine metallene Scheibe, die nicht viel größer sein darf, als der Spiegel, Stücke vom blauen Wetzsteine, der von blauem Korne sein muß, parallel neben einander in Zwischenräumen von ¼ Zoll zwischen den Stücken. Auch diese Scheibe wird nun gleichfalls nach dem Halbmesser des Spiegels auf der Drehbank convex abgedreht, und auf ihr der Spiegel mit Wasser vollständig fein geschliffen. Ein Ueberschuß von Wasser giebt dem Spiegel an verschiedenen Stellen einen verschiedenen Grad des Glanzes, das Poliren geschieht nun mit feingeschlemmtem Kolkothar und Wasser. Auf der Rückseite des Spiegels befestigt man eine kleinere Handhabe, die man vermittelst Pech aufklebt, und nachdem man die Innenseite mit dem Polirpulver bestreut, formt man aus einer Mischung von Blei und Zink den Körper seiner Form nach, den der innere Raum des Spiegels einnehmen soll, nachdem man diesen Körper mit einer dünnen Schicht Pech überzogen, die bisweilen, um den Polirstaub des Spiegels aufzunehmen, durchritzt ist. Auf diese Weise wird dann genau ein sphärischer oder parabolischer Spiegel hergestellt. Hat der Spiegel ein Loch, so erhält die besprochene Polirscheibe ebenfalls ein, wenn auch nur ein wenig kleineres, Loch.

§. 244. Versilberung und Vergoldung der Spiegel auf chemischem Wege.

Wenn man früher die Glasspiegel belegte, indem man auf eine Steinplatte ein Blatt Staniol, glatt ge-

strichen und etwas größer als die Glasplatte, ausbreitete, mit reinem Quecksilber übergoß und die wohl gereinigte Glasplatte parallel der Quecksilberoberfläche aufschob und anpreßte, bis nach allmäliger senkrechter Neigung das überflüssige Quecksilber abgelaufen war, — so bringt man in neuerer Zeit den Silberspiegel auf chemischem Wege hervor. Wir lassen hier mehrere Processe folgen:

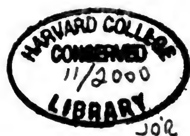
Man löse 1 Quentchen salpetersaures Silberoxyd in Aetzammoniak, und setze dann 12 Tropfen Zimmtöl und 24 Tropfen Nelkenöl in 3 bis 4 Loth rectificirtem Weingeist hinzu und filtrire die Flüssigkeit, so wird diese, auf eine Glasplatte gegossen, nach wenigen Stunden mit einem sehr fest haltenden Silberhäutchen überzogen.

2) Man vermische 2 Loth Aetzammoniak, 4 Loth salpetersaures Silberoxyd, 6 Loth Wasser und 6 Loth Weingeist, und filtrire nach 3 bis 4 Stunden dieses Gemenge. Versetzt man dann 2 Loth dieser Flüssigkeit mit 2 Quentchen Traubenzucker in 1 Pfund Wasser und 1 Pfund Weingeist gelöst und wendet sie bei 56° Reaumur an, so erhält man ebenfalls den Niederschlag.

3) Man übergießt 100 Theile salpetersaures Silberoxyd mit 62 Theilen Aetzammoniak, es erfolgt eine Erwärmung und Auflösung nebst Absetzung von Krystallen. Man gießt nun 500 Theile destillirtes Wasser hinzu, rührt um und filtrirt zur Absonderung einer kleinen Menge schwarzen Pulvers. Nun setzt man unter Umrühren 11 Theile Weinsteinsäure in 44 Theile Wasser gelöst hinzu und verdünnt mit 2500 Theilen Wasser. Man gießt die klar gewordene Flüssigkeit vom Bodensatze ab, löst diesen in andern 2500 Theilen Wasser und vermischt diese letzte Flüssigkeit, nachdem sie sich geklärt, mit der erstern, indem man noch 1000 Theile Wasser beifügt. Es schlägt sich dann eine Silberschicht auf dem Glase nieder, die um so dicker wird, wenn man das Doppelte der angegebenen Menge Weinsteinsäure nimmt. — Auch die Vergoldung erlangt man auf ähnliche Weise, indem man 30 Theile Goldchloryd in 500 Thei-

len destillirten Wassers löst und filtrirt. Gleichzeitig hat man 19 Theile Citronensäure in 85 Theile Wasser gelöst und mit 10 Theilen Aetzammoniak vermischt. Läßt man die letztere Flüssigkeit etwa 2 Stunden stehen, und gießt sie dann in die erstere, so kann man nun einen Niederschlag auf Glas hervorbringen, der eine zusammenhängende feine Goldschicht zeigt. —




HARVARD COLLEGE
CONSERVED
11/2000
LIBRARY
JOR